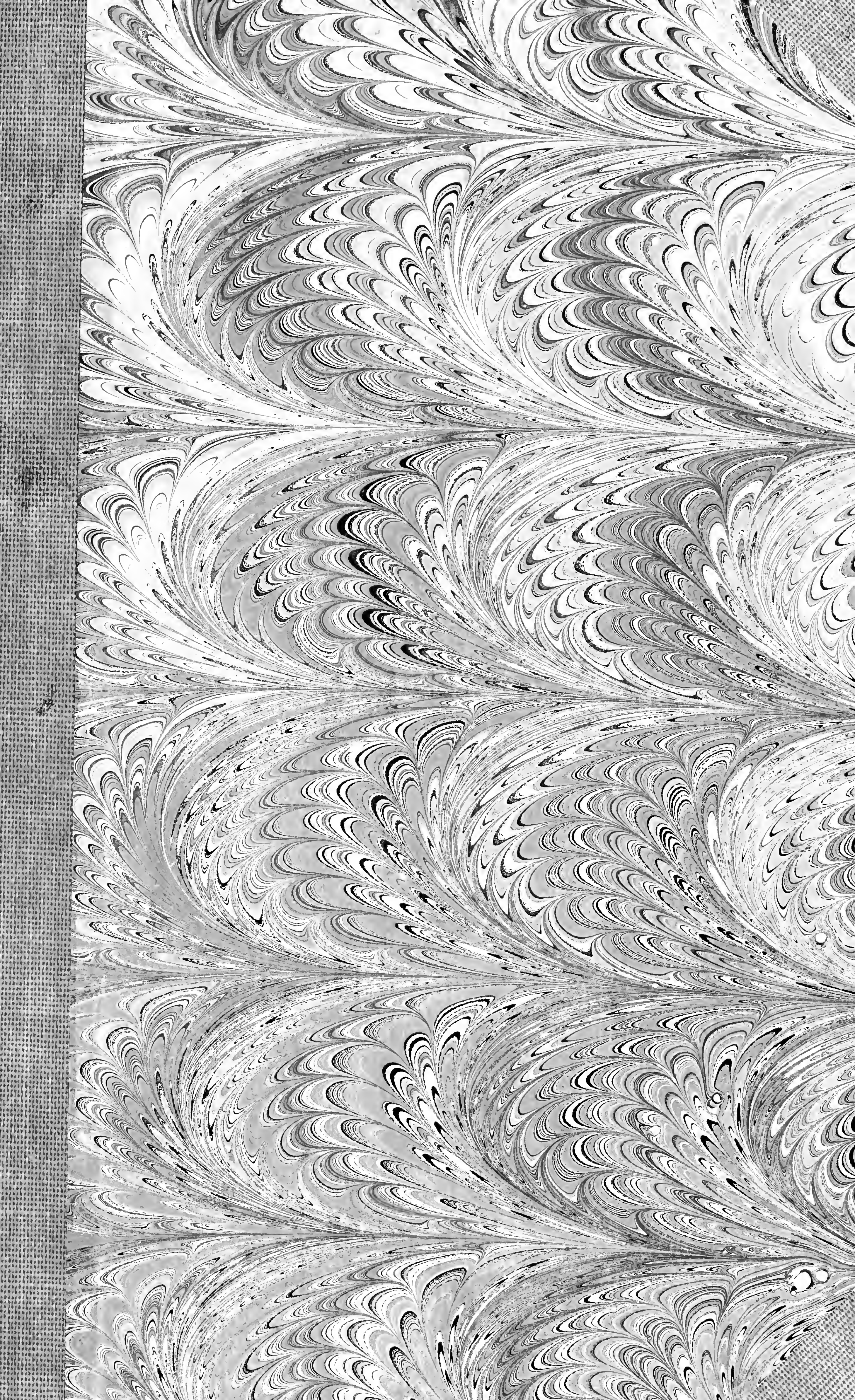


LES RAYONS X

PAR

J. D. LUCAS, S. J.



TIFIQUES, avril 1896.

VAIN

IMPRI POLLEUNIS & CEUTERICK
30, RUE DES ORPHELINS, 30.
Même maison à Bruxelles, 37, rue des Ursulines.

1896

55

Niet in
Glasser
W. C. Röntgen

LES RAYONS X

LES RAYONS X

PAR

J. D. LUCAS, S. J.

Extrait de la *REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES*, avril 1896.

LOUVAIN
IMPRIMERIE POLLEUNIS & CEUTERICK
30, RUE DES ORPHELINS, 30.
Même maison à Bruxelles, 37, rue des Ursulines.

1896

LES RAYONS X (1)

L'histoire des sciences physiques ne présente guère d'exemple d'une émotion semblable à celle qui saisit le monde savant et le public à l'annonce de la découverte du Dr Röntgen. Bientôt après sa communication à la Société médicale de Wurtzbourg, au lendemain surtout de la présentation de ces étranges photographies à l'Académie

(1) Conférence faite à la Société scientifique de Bruxelles, dans son assemblée générale du mardi 14 avril 1896.

Je tiens à remercier immédiatement mes dévoués et habiles collaborateurs. Le R. P. Schaffers m'a prêté le concours le plus précieux et le plus assidu dans mes essais à notre laboratoire de Namur. En somme, ces expériences sont autant son œuvre que la mienne. A la conférence même, il s'est acquitté de son modeste rôle de préparateur avec un zèle et une précision admirables.

Les RR. PP. Thirion et Van Tricht ont bien voulu se charger des projections et les ont exécutées avec une perfection digne de leur talent. Un bon nombre des cathodographies ont été faites par le R. P. Thirion ; les clichés d'étincelles sont dus au R. P. Van Tricht.

Mes remerciements aussi à M. le Dr J. de Nobele pour le gracieux prêt de plusieurs diapositives très intéressantes.

Je ne dresserai pas ici la liste des ouvrages auxquels j'ai eu recours pour la rédaction de cette conférence. Elle remplirait plusieurs pages. A l'occasion de tel ou tel point particulier, je donnerai de brièves indications. Ici je signalerai seulement les articles publiés par la Revue générale des sciences, dans ses numéros des 30 janvier, 20 février et 15 mars ; et, tout spécialement, les deux articles de M. C. Raveau, préparateur à la Sorbonne : *Les Rayons X*, Moniteur scientifique Quesneville, 4e série, t. X, pp. 161-171, mars ; — *Les Faits nouvellement acquis sur les rayons de Röntgen*, Revue générale des sciences, 15 mars, pp. 249-253. Ces deux derniers articles m'ont grandement facilité le travail de compilation.

On doit à M. C. Raveau, au sujet de la théorie des rayons X, une remarque du plus haut intérêt. Nous la signalerons en son lieu.

des sciences de Paris, les journaux quotidiens en portèrent la nouvelle aux quatre coins du monde.

D'ordinaire, les savants n'arrivent qu'avec peine à faire connaître aux profanes le fruit de leurs travaux et de leurs veilles et à leur communiquer une étincelle de leur enthousiasme. Ici, par un renversement singulier des choses, c'est dans les organes du monde politique que les paisibles travailleurs du laboratoire apprirent d'abord à connaître le nouveau mystère et puisèrent les premières indications nécessaires à leurs recherches. Ce fut, disons le mot, un ahurissement général, — auquel succéda une fièvre de travail qui, à en juger par l'abondance des problèmes énigmatiques qui se posent, ne prendra pas fin de sitôt.

L'astronomie, avec ses apparitions inattendues et ses phénomènes grandioses, semblait avoir le monopole des surprises émotionnantes. Elle doit désormais partager cette prérogative avec la physique. Elle doit même, en semblable occasion, lui céder le pas. Les phénomènes célestes sont simplement offerts de loin à notre observation, et souvent se soustraient sans retour à nos investigations avant que la lumière ne soit faite sur leur nature. La nouvelle étoile du Cocher qui, ces dernières années, fit tant de bruit dans le monde astronomique, s'est dérobée sans laisser aux observateurs le temps de pénétrer le secret de son apparition, de son éclat grandissant, de ses fluctuations, de son déclin. Au contraire, les agents physiques, plus à notre portée, saisis par la main curieuse de la science, soumis à ses combinaisons ingénieuses, peuvent être reproduits à volonté, étudiés dans des conditions variées, retournés, creusés, analysés, définis, enfin, l'énergie et l'habileté des travailleurs aidant, mis peu à peu à découvert : — peu à peu, car l'enthousiasme de la découverte ne doit point nous faire tomber dans l'illusion. Qui sait quand sera trouvée la clef de ce mystère désormais palpé tous les jours ?

Mais laissons ces considérations et, sans retard, passons à l'étude que nous nous sommes proposée.

Voici une ampoule de verre en forme de poire, semblable à très peu près à l'un de ces tubes que Crookes a rendus célèbres et presque vulgaires par de curieuses expériences. Avant de la fermer, on a épuisé l'air qu'elle renfermait d'abord en n'en laissant qu'une trace, un ou deux millionièmes de la masse primitive ; — en d'autres termes, on a réduit la pression à n'y être plus que d'un ou de deux millionièmes d'atmosphère. Ces petits nombres ne peuvent être saisis par notre imagination et ne lui disent rien de précis. Transformons notre énoncé : si le tube de nos baromètres, au lieu d'un mètre de hauteur, en avait 300, la colonne mercurielle, en occupant environ les 4/5, aurait 240^{m} de hauteur, et le millionième d'une pression mesurée par ces 240 mètres reviendrait à un quart de millimètre !

A travers les parois de l'ampoule passent, hermétiquement soudés, deux fils de platine courbés en anneau à l'extérieur et terminés à l'intérieur par un disque ou, ce qui vaut mieux, une cupule d'aluminium. A chacun de ces anneaux accrochons un fil métallique qui les mette en communication avec les pôles d'une source d'électricité à grande différence de potentiel (machine électrostatique de Wimshurst, par exemple, bobine d'induction de Ruhmkorff, transformateur de Tesla). Dès lors, cupules d'aluminium et fils de platine intérieurs à l'ampoule deviennent des *électrodes*, c'est-à-dire des points d'entrée et de sortie pour le courant. Le flux électrique étant censé marcher du pôle positif vers le pôle négatif, nous appellerons *anode* ou, si l'on veut, porte d'entrée, l'électrode positive, et *cathode,* l'électrode de sortie ou négative.

La source d'électricité, avons-nous dit, doit avoir aux pôles une grande différence de potentiel. Cette condition est requise chaque fois que la décharge électrique se fait dans un milieu offrant à son passage une grande résistance.

Mais, de nouveau, de crainte que l'imagination effrayée par l'aspect insolite de cette expression de *potentiel* ne se trouble dès notre début, ramenons-la à une forme plus simple. Mettons le pôle négatif au potentiel zéro, ce qui se réalise physiquement en le reliant à la terre. La condition énoncée revient alors à ceci : nous aurons besoin, dans nos expériences, d'électricité sous très forte *pression;* le débit de notre source, la quantité d'électricité qui circulera dans nos conduites, ne devra pas être très considérable, relativement ; mais il faudra que le réservoir soit, équivalemment, à une hauteur très grande, que le courant presse énergiquement les parois des conduites et s'élance avec force des ouvertures que nous lui ménagerons.

Envoyons donc le courant à haute pression à travers notre ampoule. Immédiatement dans l'intérieur du tube apparaît une lueur faible, un pinceau de lumière violacée qui jaillit de la cathode vers la paroi opposée. Celle-ci, aux points frappés par l'effluve lumineux, devient fluorescente, ou mieux peut-être luminescente (1) ; elle prend une belle teinte vert pomme qu'elle conserve quelque temps après que le courant a cessé de passer.

Fixez votre attention moins sur le jet intérieur que sur la paroi illuminée. C'est là précisément, semble-t-il, aux différents points de cette plage verte que, dans le dispositif actuellement sous vos yeux, prend naissance le rayonnement mystérieux, les rayons X, comme on les a si

(1) La terme *fluorescence* a été défini d'une façon précise par Stokes. C'est la dégradation des vibrations éthérées d'une certaine fréquence en vibrations de fréquence moindre : par exemple, des radiations ultra-violettes en radiations violettes. Les radiations spectrales subissent cette dégradation quand elles tombent sur des substances appelées *fluorescentes,* comme, par exemple, le sulfate de quinine.

On est loin d'employer toujours ce mot en conformité avec la définition de Stokes ; nous nous accorderons nous-même parfois cette liberté.

E. Wiedemann a proposé la terme général de *luminescence* pour désigner l'ensemble des phénomènes phosphorescents et fluorescents sans en préjuger la nature précise.

justement appelés. Nulle dénomination jusqu'ici ne leur convient mieux. Elle fut proposée par le Dr Röntgen lui-même et maintenue par lui avec une rare modestie.

Au point où nous en sommes, nous pourrions définir grossièrement les rayons X : un agent qui, sous l'action de la décharge électrique dans une atmosphère très raréfiée contenue dans une ampoule de verre, prend naissance sur la paroi aux points frappés par le jet cathodique.

Afin d'en avoir une idée plus distincte et de rencontrer, chemin faisant, divers phénomènes intimement liés à notre sujet, rappelons brièvement les *caractères de la décharge électrique dans les gaz.*

Décharge dans l'air libre. — Soit donc une source électrique à haut potentiel, une machine d'induction de Voss par exemple, armée de ses condensateurs ordinaires, c'est-à-dire de petites bouteilles de Leyde réunies aux deux pôles. Mettons-la en mouvement et écartons les boules polaires. Aussitôt des étincelles éclatent nombreuses, rectilignes si la couche d'air à traverser ne dépasse pas deux ou trois centimètres. La distance entre les boules devient-elle plus considérable, l'étincelle ne suit plus, d'ordinaire, le chemin le plus court ; elle suit le moins résistant, et prend la forme en zig-zag habituelle à l'éclair. Ces changements de direction si brusques et si capricieux en apparence sont probablement déterminés par la distribution des poussières dans l'air.

Jaillissant entre des pièces de monnaie, la décharge amène aux divers points du relief de l'empreinte de petites lueurs qui permettent de reconnaître la pièce et d'en obtenir la photographie (Latchinoff et Moniusko, 1888).

Quels sont les agents de ces impressions photographiques ? Il serait difficile de le dire d'une façon précise et complète. La lumière ordinaire intervient certainement ; une influence électrique s'y ajoute, on n'en peut guère douter ; peut-être les rayons X eux-mêmes n'y sont-ils pas

absolument étrangers. Le phénomène est d'une complexité inextricable dans l'état actuel de nos connaissances.

Enlevons à la machine ses petites bouteilles de Leyde. La décharge prend un caractère nouveau, et nous obtenons des aigrettes filamenteuses, arborescentes et en barbes de plume.

Décharge dans les gaz raréfiés.— Dans les expériences indiquées à l'instant, le flux électrique jaillissait *à l'air libre*. Mais écartons davantage les pôles de la machine et mettons-les, au moyen de fils métalliques ou de chaînettes, en communication avec les électrodes d'un tube où l'on peut faire le vide, soit, par exemple, avec les deux boules de l'appareil classique appelé *œuf électrique* ou avec les fils d'un tube de Geissler non fermé. Un tuyau de caoutchouc relie cet espace limité à la machine pneumatique. Celle-ci étant mise en marche, diminuant la pression dans le tube, l'étincelle acquiert, pour une même différence de potentiel ou une même pression du fluide électrique, une longueur plus considérable ; ou bien inversement, pour une longueur d'étincelle donnée, la différence de potentiel nécessaire décroît comme la pression du gaz et dans la même proportion (Harris, 1834). Voilà du moins ce qui se passe pour des pressions comprises entre 76 cm. de mercure (pression barométrique moyenne) et 28 cm. Lorsque la pression s'abaisse au-dessous de 28 cm., la différence de potentiel nécessaire pour produire l'étincelle est plus grande que ne l'indique la loi de Harris (1).

(1) Gordon, PHILOSOPHICAL MAGAZINE. Sept. 1878, p. 185. Résumé dans J. E. H. Gordon, *Traité expérimental d'électricité et de magnétisme*, traduction française de J. Raynaud, t. II, pp. 121 et suiv. — Baille. *Mesure des potentiels explosifs dans différents milieux*. ANNALES DE CHIMIE ET DE PHYSIQUE, 5e série, t. XXIX, pp. 181-194 ; et JOURNAL DE PHYSIQUE, 2e série, t. III, p. 503.

A la rigueur, il faudrait distinguer l'étincelle de l'aigrette ; ce ne sont pas deux formes différentes d'un même phénomène, elles ne suivent pas les mêmes lois. Baille, *Mesure des potentiels correspondant à des distances explosives déterminées*, JOURNAL DE PHYSIQUE, 2e série, t. I, pp. 169-173.

D'ailleurs, déjà lorsque la colonne mercurielle du manomètre indicateur de la force élastique du résidu gazeux est à une hauteur voisine de 38 cm., l'aspect de la décharge se modifie considérablement. Tout le gaz contenu dans le tube devient lumineux, et si on examine cette lumière au spectroscope, on la voit décomposée en un certain nombre de raies brillantes qui forment le spectre caractéristique du gaz renfermé dans le tube. Cette observation — qu'on nous permette ces deux mots de parenthèse — a été le principe des étonnantes recherches d'astrophysique qui nous ont fait connaître la constitution des corps célestes, la rapidité de leur vitesse d'approche ou d'éloignement par rapport à nous, le sens et la grandeur de leur vitesse de rotation sur eux-mêmes, etc.

La raréfaction étant amenée à un ou deux millimètres de mercure, comme cela est réalisé dans les *tubes de Geissler*, on est témoin, au moment du passage de l'électricité, du phénomène d'Abria, ou de la *stratification de la lumière*. Autour de la cathode se montre une auréole violette, et de l'anode se propage une lueur rose ou purpurine divisée en strates ou couches agitées d'un léger tremblement. Cette lueur striée peut remplir *presque* tout l'espace intermédiaire entre les deux pôles ; mais toujours un intervalle obscur la sépare de l'enveloppe lumineuse de la cathode.

Plusieurs savants, parmi lesquels il faut citer Gassiot (1860), Spottiswoode (1875-76), Warren de la Rue et Müller (1877), et enfin Fernet (1880), ont beaucoup étudié ce phénomène curieux, sans réussir pourtant à en fournir une explication satisfaisante ; sa nature intime est encore actuellement inconnue (1).

(1) Gassiot, Proceedings of the Royal Society, t. X, pp. 6 et 393, 1859-60.— Spottiswoode, Ibid., t. XXIII, p. 455 (1875) et t. XXV, p. 73 (1876). — Warren de la Rue et Müller, Philosophical Transactions, Part I, t. CLXIX, p. 55 et p. 155. — Fernet, Comptes rendus de l'Académie des sciences, t. XC, p. 680 (1880).

Une circonstance des phénomènes présentés par les tubes de Geissler plus intéressante à notre point de vue, c'est la vive *illumination des substances fluorescentes* placées dans le tube ou à son contact. Si, par exemple, une partie de ce tube est immergée dans une solution de sulfate de quinine, de fluorescéine, etc., ou si le verre lui-même de la paroi est coloré avec de l'urane, ces substances brillent de leurs couleurs caractéristiques quand le tube est sillonné par l'étincelle électrique. Elles deviennent, nous le verrons, l'origine d'un rayonnement capable de traverser les corps opaques à la lumière.

Observons qu'une seule des deux boules qui terminent le tube est fortement illuminée : c'est celle qui est reliée au pôle négatif de la machine, c'est la boule cathodique. Si l'on renverse les pôles, l'illumination apparaît à l'extrémité qui d'abord était relativement sombre.

Nous arrivons aux *tubes de Crookes*. Si Crookes ne fut pas le premier à signaler les phénomènes d'ordre spécial dont nous allons parler, au moins eut-il le mérite d'en découvrir plusieurs indépendamment des recherches antérieures, de donner à leur reproduction un éclat tout particulier et d'en vulgariser la connaissance. Il fut l'auteur non de leur première découverte, mais, pourrait-on dire, de leur découverte *utile* (1).

Dans les tubes de Geissler, le vide était fait à deux ou trois millimètres de mercure. Il nous faut maintenant des ampoules bien plus parfaitement évacuées, ne conservant

(1) En Allemagne, dès 1879, Hittorf avait étudié les phénomènes produits par la décharge dans les gaz très raréfiés. *Ueber die Elektricitätsleitung in Gasen*, POGGENDORF'S ANNALEN, t. VII (1880). Goldstein fit des recherches sur le même objet (*Untersuchungen über die electrische Entladung in Gasen*, Berlin, 1880).

Mais les travaux de Crookes furent faits indépendamment des observations antérieures (ANNALES DE CHIMIE ET DE PHYSIQUE, 3e série, t. XIX, p. 195; PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY, t. XXVIII, pp. 103, 347. PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS, t. VI, p 11, 1879; JOURNAL DE PHYSIQUE, t. IX, pp. 30, 37 et 164).

qu'un quatre millième ou un cinq millième de l'air résiduel ; en un mot et suivant l'expression consacrée, nous avons besoin du *vide de Crookes*, un ou deux millionièmes d'atmosphère.

Une machine pneumatique ordinaire, aussi perfectionnée qu'on voudra bien l'imaginer, est incapable de nous fournir pareil résultat. Même avec le dispositif de Babinet, l'espace nuisible nous arrêterait bien avant cette limite. Nous recourrons aux pompes et aux trompes à mercure. Ces machines, dont les principes sont dûs à Geissler et à Sprengel, n'ont pas d'espace nuisible, seulement leur fonctionnement est extrêmement lent.

Si, à l'aide de ces instruments, on réduit la pression dans un tube de Geissler, les stratifications qui émanent du pôle positif se retirent graduellement, et l'enveloppe violette relativement obscure de la cathode s'étend de plus en plus jusqu'à remplir toute l'ampoule. Elle atteint les parois, et là où elle rencontre le verre, — verre ordinaire cette fois, non préalablement coloré par de l'urane, — se développe une luminescence remarquable dont on peut d'avance déterminer la forme et l'étendue. En chaque point de l'électrode négative ou cathode, menons des perpendiculaires à sa surface : nous formerons un faisceau de droites qui marche vers la paroi et y découpe une région déterminée ; c'est cette région qui devient phosphorescente dès que l'électricité passe. Sur chaque droite chemine un *rayon cathodique*, et *la luminescence que ces rayons excitent dans le verre* est précisément la *première propriété* que nous avons à leur attribuer. Nous l'avions signalée dès l'abord de cet article, mais son importance est telle qu'il convenait de la rappeler et de la préciser.

Répétons-en la démonstration expérimentale. Voici un tube à vide spécialement construit pour la production des rayons X. Il est en verre incolore, il a la forme d'une poire calebasse. L'électrode destinée à servir de cathode se

trouve à la petite pointe ; l'anode est dissimulée dans un appendice latéral, de façon à ne pas intercepter le rayonnement cathodique. De chacun des points de la cathode partent les rayons qui viennent frapper la paroi opposée et y produisent une luminescence vert pomme.

Donnons à la cathode la forme d'une portion de cylindre droit de révolution : les normales se coupent en un foyer commun situé sur l'axe du cylindre et divergent au delà. L'enveloppe inférieure du faisceau de rayons rencontre la paroi suivant deux arcs d'ellipses rendus visibles par la luminescence.

La teinte de cette luminescence varie avec la composition du verre : le verre d'urane, déjà naturellement verdâtre, devient vert foncé ; le verre anglais et le verre d'Allemagne fusible, qui n'ont par eux-mêmes aucune teinte sensible, s'illuminent le premier en bleu violet, et le second en vert pomme.

Un *second caractère* des rayons de cathode est *l'impossibilité où ils sont de dévier spontanément de la ligne droite*. Se présente-t-il sur leur route un angle à contourner, ils s'arrêteront plutôt que de modifier la direction de leur trajectoire. Bien différente était la marche des phénomènes lumineux dans les tubes de Geissler : nous les avons vus suivre docilement tous les méandres des tubes où passait l'étincelle et produire ainsi de très jolis effets. Ici, au contraire, au premier détour imposé par la forme du tube, refus absolu de passer outre.

Le tube en V muni d'une électrode à chaque extrémité sert à montrer cette propriété. Nous y lançons le courant. La branche reliée au pôle négatif, celle de droite, par exemple, devient vivement luminescente, l'autre reste presque complètement obscure. Si l'on renverse le courant, la cathode passe à gauche, la branche de gauche est luminescente, celle de droite perd son éclat.

Mais si la propagation naturelle des courants de cathode se fait suivant une droite rigide et normale au point de l'électrode dont ils émanent, il s'en faut de beaucoup qu'ils ne puissent être détournés de ce chemin par une influence étrangère. Déjà sensibles à l'approche de la main, plus encore à celle d'un corps conducteur, *ils sont énergiquement déviés par l'action de l'aimant.*

Ce n'est pas que le flux électrique lancé par la cathode dans les gaz très raréfiés jouisse seul, à l'exclusion des autres sortes de décharges, d'une certaine sensibilité à l'égard des champs magnétiques. L'effluve qui, à l'air libre, accompagne l'étincelle, subit de la part d'un aimant placé dans son voisinage une action directrice très nette. Toujours ils se conduit en sa présence absolument comme le ferait un courant mobile, et il en est identiquement de même de l'effluve qui traverse un tube de Geissler.

S'agit-il au contraire des modifications subies par la lueur violette de la cathode, on observe, comme Plücker l'a montré, que cette lueur s'étend en une surface qui peint aux yeux l'ensemble des courbes suivant lesquelles s'exerce l'action des deux pôles de l'aimant sur les points lumineux (1).

Hittorf et Crookes ont étudié d'une façon très approfondie l'action de l'aimant sur la décharge dans les gaz très raréfiés. Le premier a résumé d'une façon élégante le résultat fondamental de ses observations : le rayon cathodique, dit-il, se comporte en face de l'aimant à l'égal d'un fil conducteur, mince, sans poids, primitivement rectiligne, parcouru par un courant, et qui ne serait fixé que par une de ses extrémités, celle qui est située sur la cathode. Le fil, sur le reste de sa longueur, obéit, mais à la manière d'un acier résistant, à l'action des forces qui s'exercent entre ses éléments et le pôle magnétique ; la position qu'il occupe par rapport à l'anode, qu'il en soit voisin ou

(1) Plücker. POGGENDORFF'S ANNALEN, t. CIII.

éloigné, importe peu. Au contraire, les rayons anodiques relient toujours l'anode à la lueur violette cathodique ; leurs deux extrémités sont fixes et n'obéissent aux forces magnétiques qu'autant que cette liaison le permet.

Un appareil de Crookes montre facilement l'action de l'aimant sur les rayons cathodiques. Un diaphragme de mica où une fente a été découpée prélève sur ce rayonnement un faisceau laminaire qui tombe sur un écran fluorescent et y marque sa trace d'un trait bleu vif. Approche-t-on l'aimant du tube, la ligne de lumière se courbe sous l'influence magnétique et ondule, comme une baguette flexible, quand on fait varier la position de l'aimant.

Quelle est la *nature de ces étranges rayons cathodiques ?* — Les caractères que nous avons décrits — et ils en est d'autres encore tout aussi remarquables — nous montrent que le gaz à cet état de raréfaction est doué d'un ensemble complexe de propriétés nouvelles, opposées à celles qu'il possède aux pressions supérieures. Est-ce encore un gaz purement et simplement, un vrai gaz, ou ne convient-il pas plutôt d'y voir un quatrième état de la matière, nettement différencié des trois états connus de tout temps : état *solide,* état *liquide,* état *gazeux ?*

Crookes adopta cette dernière solution et crut en avoir fait la preuve. Reprenant une expression de Faraday, il donna à cette nouvelle manière d'être des corps le nom d'*état radiant.* Le caractère fondamental de cet état est, d'après le savant anglais, la liberté presque absolue des rares molécules laissées dans l'ampoule. Un certain nombre de molécules est nécessaire : car si la raréfaction est poussée au delà de certaines limites, tous les phénomènes disparaissent. S'il en reste le nombre voulu, l'énergie que leur communique la décharge éléctrique les transforme en de véritables projectiles dont les chocs

contre les parois ou contre certains corps renfermés dans le tube expliquent tous les détails des expériences. Telle est dans son principe la célèbre théorie du *bombardement moléculaire* (1).

Très attrayante par sa simplicité, cette explication recueillit d'abord un grand nombre d'adhésions. Mais bientôt les contradicteurs se levèrent pour combattre la théorie cinétique des phénomènes. L'Angleterre, sa patrie, lui resta fidèle; d'illustres savants, comme Kelvin et Stokes, se joignirent à Crookes pour la défendre. Sur le continent, en Allemagne surtout, elle trouva de rudes adversaires. Pour ceux-ci, l'hypothèse du bombardement était inutile; les mouvements vibratoires expliquaient tout.

Dans ces derniers temps, à la suite des recherches de Hertz et de son élève Lénard, de Wiedemann et de Ebert, de Jaumann, le débat s'est ranimé avec des succès divers. Après avoir pris carrément parti pour l'hypothèse ondulatoire, tel savant de grand mérite reconnaissait, peu de temps avant l'apparition des rayons X, que les phénomènes étaient, en apparence, contradictoires, et, qu'en fin de compte, la théorie des chocs n'était pas dépourvue d'arguments de grande valeur (2).

(1) Cette théorie, avec les expériences dont Crookes l'a étayée, a été exposée ici-même dans un article très intéressant dû à la plume d'un de nos plus habiles écrivains, le R. P. J. Thirion. Nous engageons vivement nos lecteurs à relire ces pages curieuses auxquelles les rayons X rendent une nouvelle actualité. (J. Thirion, S. J. *Les Mouvements moléculaires*, REV. DES QUEST. SCIENT., t. VII, pp. 5-56, janvier 1880).

(2) Ch.-Éd. Guillaume. *Les Rayons cathodiques.* LA NATURE, 22e année, 1894, 2e semestre, pp. 131-135, 24e ann., 1895, 1er sem., pp. 42-43.

Le livre intéressant et très documenté que le même auteur vient d'écrire sur les rayons X semble trahir encore un reste d'hésitation au sujet de la théorie des rayons cathodiques : *Les Rayons X et la photographie à travers les corps opaques*, par Ch.-Éd. Guillaume, docteur ès sciences, adjoint au bureau international des poids et mesures. Paris, Gauthier-Villars.

Expériences de Hertz et de Lénard. — Hertz avait établi que tous les corps n'étaient pas absolument opaques aux rayons cathodiques, et que ceux-ci traversaient, par exemple, une très mince feuille d'aluminium baignée sur ses deux faces par une atmosphère très raréfiée. Lénard, plus hardi, tenta de faire sortir ces rayons du vide de Crookes dans l'asmosphère. Dans la paroi terminale d'un tube à vide il pratiqua une fente très étroite fermée par une feuille d'aluminium de 3 microns d'épaisseur (3 millièmes de millimètre). L'essai réussit, les rayons de cathode traversèrent cette cloison, pénétrèrent dans l'atmosphère et y subirent la diffusion. On put les comparer à la lumière tombant dans un milieu trouble, comme une fumée, ou de l'eau contenant un peu de lait.

Lénard employa, pour l'observation des rayons cathodiques au dehors des tubes où ils ont pris naissance, deux procédés commodes auquel nous aurons nous-mêmes à recourir. Le premier utilise la luminescence que ces rayons éveillent en particulier dans le pentadécylparatolylcétone appliqué en solution sur un écran de papier de soie ; le second emploie leur action sur les plaques photographiques. Ces deux influences sont perceptibles l'une et l'autre même après que les rayons cathodiques ont traversé l'aluminium sous épaisseur convenable, malgré toute son opacité à la lumière ordinaire.

Lénard obtint même des impressions sur une plaque sensible placée *dans une boîte d'aluminium entièrement fermée.* C'était presque la découverte de Röntgen. Il la frôla de bien près.

Les choses en étant là, on pouvait se demander si les rayons cathodiques ne traverseraient pas même la paroi de verre de l'ampoule. Et si déjà l'on avait cru pouvoir répondre négativement à cette question, et affirmer qu'un écran quelconque, même transparent, comme le verre, le mica, le collodion, pris sous l'épaisseur la plus réduite possible, arrêtait les rayons de cathode, les résultats très

inattendus de Hertz et de Lénard excusaient bien un certain doute et autorisaient un nouvel essai. On s'aiderait des deux moyens d'observation de Lénard : la phosphorescence, et l'impression des plaques sensibles.

Venons-nous de reproduire les réflexions qui conduisirent Röntgen à ses expériences et avons-nous trouvé la vraie genèse de sa découverte ? Ou bien celle-ci fut-elle le résultat d'un hasard presque fortuit ? Nous n'avons pu nous renseigner sur ce point.

Recherches de Röntgen. — Quoi qu'il en soit, de fait, ayant mis son laboratoire dans l'obscurité et enveloppé complètement de papier noir un tube de Crookes en activité, le professeur de Wurtzbourg en approcha un écran recouvert d'une substance fluorescente, le platinocyanure de baryum, et constata — nous laissons à penser avec quelle émotion — qu'il devenait lumineux. La fluorescence était encore sensible à deux mètres du tube, et la cause de cet effet n'était pas ailleurs que dans le tube lui-même. — Y avait-il là aussi un pouvoir actinique ? Des plaques photographiques ordinaires, des pellicules sensibles furent présentées au tube toujours caché dans son manchon ; le développement montra qu'elles avaient été atteintes.

Pourtant il ne fallait point encore se hâter. N'avait-on pas affaire à de simples rayons ultra-violets ? Dans ce cas, l'expérience restait curieuse, ses applications peut-être seraient importantes, mais, au point de vue des principes, elle était loin d'atteindre aux proportions étonnantes qu'elle a prises. C'était une extension, une généralisation de propriétés déjà reconnues ailleurs en partie.

Car, avec les rayons visibles, le soleil et les autres foyers nous envoient, dans la très grande généralité des cas, des radiations invisibles. Quand le prisme décompose le rayonnement d'un foyer dans les couleurs de l'arc-en-ciel, il rejette une partie de ces radiations invisibles à un

bout du spectre au delà du rouge : ce sont les rayons infra-rouges ; — les autres sont renvoyés à l'extrémité opposée, au delà du violet : ces dernières s'appellent radiations ultra-violettes.

Or, les rayons ultra-violets jouissent précisément de la double propriété signalée à l'instant dans les rayons X. Ils excitent la fluorescence, en particulier dans le platinocyanure de baryum, et impressionnent énergiquement les couches sensibles des plaques photographiques. Chose plus remarquable et nouveau point de contact, sinon preuve d'identité : un corps au moins, opaque à la lumière, l'argent, laisse passer les rayons ultra-violets sans les dépouiller de leurs propriété actiniques (1).

Les rayons X n'étaient-ils pas de *simples rayons ultra-violets* ordinaires?

La distinction fut facile à établir. Röntgen prit un carton dont il vérifia la parfaite opacité à l'égard des dernières régions spectrales de la lumière du soleil, de l'arc électrique, etc. Les rayons X le traversèrent sans grand affaiblissement. Un grand nombre d'autres substances agissaient de même. La preuve était donc faite. Plus récemment, en raison de sa grande importance, elle fut renouvelée par Nodon avec un arc électrique puissant. Ce rayonnement, très riche en radiations ultra-violettes, ne

(1) De Chardonnet, *Sur la transparence actinique de quelques milieux, et, en particulier, sur la transparence actinique des miroirs de Foucault et leur application en photographie.* JOURNAL DE PHYSIQUE, 2e série, t. I, p. 305, 1892.

D'une façon générale, transparence et opacité sont des propriétés essentiellement relatives. Pour s'exprimer correctement à leur sujet, il est requis de préciser la teinte ou, plus scientifiquement, la longueur d'onde des radiations reçues par le corps en expérience. Le cas de l'argent, que nous venons de citer, en est une preuve. Les photographes, pendant les opérations du développement des plaques impressionnées, etc., ne laissent pénétrer dans leurs laboratoires que de la lumière tamisée par un verre rouge rubis. La raison en est que ce verre est opaque aux rayons de réfrangibilité supérieure au rouge, ne laisse donc passer que la lumière rouge, et que celle-ci n'a qu'une action très lente sur les plaques sensibles.

put atteindre une plaque photographique à travers une enveloppe de papier que les rayons X traversèrent sans peine.

Mais les rayons X pouvaient bien être encore *une classe de rayons cathodiques* capables de traverser une notable épaisseur de verre. Hertz et Lénard n'avaient-ils pas prouvé que les rayons de cathode traversent tous les corps réduits en lamelles suffisamment minces, sans que leur opacité à la lumière ordinaire soit le moins du monde un obstacle ?

Röntgen signale une première divergence. *Le pouvoir absorbant des diverses substances à l'égard des rayons cathodiques et des nouveaux rayons est fort inégal.* L'écran fluorescent le montre. L'éclat de l'illumination varie à peu près comme l'inverse du carré de la distance qui sépare l'écran du tube à décharges : en langage ordinaire, cela veut dire que l'air absorbe très peu les rayons X, beaucoup moins que les rayons de cathode. La persistance de la luminosité de l'écran à deux mètres du tube en était déjà une preuve. Du reste, les autres corps se comportent comme l'air : tous sont plus perméables pour les rayons X que pour les rayons cathodiques.

Ce n'est là à tout prendre qu'une différence accidentelle, question de plus ou de moins. Un caractère plus tranché apparaît dans ce fait que *les rayons X ne sont pas déviés par les champs magnétiques même très intenses,* tandis que cette déviation est un caractère commun à *tous* les rayons cathodiques capables de sortir des tubes.

Nous restreignons notre proposition aux rayons observés *en dehors des tubes.* Une expérience de Goldstein nous y oblige. Ce savant réussit à tamiser le flux de la cathode à l'intérieur des tubes, et il montra qu'une partie du flux conservait sa propagation rectiligne en présence de l'aimant. Quant aux rayons cathodiques qui traversent la

fenêtre d'aluminium de Lénard et passent dans l'air ambiant, *tous*, nous le répétons, subissent l'action de l'aimant d'une façon indéniable, quoique à des degrés divers (1).

Voilà donc la distinction entre les rayons X et les rayons ultra-violets d'une part, et les rayons simplement cathodiques de l'autre, parfaitement établie. Cette fois, la position est franche, un nouvel agent physique a été reconnu, les limites de la science sont reculées, un terrain vierge est ouvert. Röntgen en fit la première exploration avec une ardeur et un soin admirables.

Ce n'est pas un fait vague et indéfini qu'il nous livre, une étude grossièrement ébauchée qu'il nous présente : c'est une œuvre certainement hâtée, afin de ne point soustraire à la connaissance du monde savant le secret trouvé, mais en même temps une œuvre fouillée et traitant d'une façon sérieuse la plupart des points intéressants.

En un mot, au nom de Röntgen reste désormais attaché le souvenir d'une grande découverte, d'une conquête bien assise, de l'occupation solide d'une nouvelle province de l'empire de la science. Le cadastre des moindres parcelles n'est pas établi, mais les principaux jalons sont posés, la carte a été dressée par le premier explorateur.

Notre but n'est pas ici d'écrire l'historique détaillé de la découverte et d'assigner à chacun des savants la part qu'il a prise : le moment n'en est pas venu. Contentons-nous donc de l'hommage général que nous venons de rendre à l'illustre professeur de Wurtzbourg et, sans nous attacher davantage à mettre en relief toute l'étendue de son rôle, esquissons les principaux résultats acquis.

(1) *Mémoire de Röntgen*, n° 11.— Le fait de la non-déviation des rayons X *non modifiés* par les champs magnétiques a été vérifié par A. Lafay. COMPTES RENDUS, 23 mars, p. 715. « *Non modifiés,* » voir plus loin.

Déjà nous avons décrit le *mode* ordinaire *de production des rayons X*. De nouvelles méthodes plus ou moins parfaites ont été signalées. Ainsi Violle et d'autres ont remplacé le tube de Crookes par une lampe à incandescence. Violle emploie comme source électrique le dispositif de Tesla, et remplace le tube de Crookes par une lampe de Gérard ou de Swan à luminescence verte. Il en actionne la douille, tandis que la pointe est reliée à une capacité quelconque ou à un point du circuit.

Un perfectionnement hautement désirable était la *réduction du temps de pose* nécessaire pour obtenir l'ombre photographique d'un objet plus ou moins opaque aux rayons X. Il est évident que ce temps dépend de nombreux facteurs : intensité de la source rayonnante, distance du tube à la plaque, ouverture du diaphragme, et, très spécialement, épaisseur et transparence des milieux à traverser.

Pour citer quelques exemples, Imbert et Bertin-Sans ont constaté que quelques secondes suffisaient aux rayons X pour produire un effet actinique sensible à travers des feuilles de papier noir et une lame de liège de deux centimètres d'épaisseur. Nous-même avons obtenu en 15 secondes le dessin de lettres découpées dans une feuille de laiton, à travers un sachet de soie caoutchoutée ; et il est évident que cette durée aurait pu être réduite de beaucoup. M. Seguy est pessimiste à coup sûr quand il estime que deux centimètres de tissus organiques exigent une heure de pose. Une main d'homme fait, que nous projetterons tout à l'heure, n'a demandé que 14 minutes avec un diaphragme de 18^{mm} d'ouverture, le tube étant à 12 centimètres de la plaque ; 12 minutes nous avaient déjà fourni une bonne cathodographie du même objet. Une main d'enfant de dix ans a été obtenue en 4 minutes.

Je ferai observer ici qu'à Namur, constamment, nous avons suivi la règle formulée, m'a-t-on dit, par Perrin, préparateur à la Sorbonne, un des savants qui sont occupés

avec le plus de succès des rayons X. Voici cette règle : Ne jamais faire travailler le tube plus de quatre minutes de suite : il se fatigue trop et son rendement baisse. A séparer chaque période de quatre minutes d'activité par une minute de repos, on ne perd pas de temps, au contraire : la durée totale de l'exposition se trouve diminuée.

Les *conditions du courant* envoyé dans le tube ont une influence marquée sur le temps de pose. En un mot, le courant doit être tel qu'il entretienne une belle phosphorescence du tube : c'est une question d'ampères et de volts et aussi de fréquence d'interruptions ou de réglage du trembleur ; il est difficile de préciser.

D'après J. Chappuis et E. Nugues, la substitution de l'*interrupteur Foucault* aux trembleurs métalliques fait tomber le temps de pose dans le rapport de 40 à 1. Ils ont obtenu ainsi des épreuves de main jusqu'à l'avant-bras (diaphragme 8^{mm}; distance de la plaque au tube 15^{cm}) en *une minute !* Ce résultat semble dû à l'instantanéité de l'étincelle de rupture dans l'alcool. Aussi quand l'alcool est envahi par une boue noirâtre, formée de bulles de mercure, l'étincelle pouvant se prolonger un peu davantage, le temps de pose augmente de 2 à 5 (COMPTES RENDUS, 30 mars, p. 777).

La puissance d'un tube de Crookes actionné par une bobine de Ruhmkorff à interrupteur Foucault n'augmente pas, pour une même intensité du courant mesuré dans l'inducteur fermé, en même temps que le nombre des interruptions. Du reste, il faut observer que quand le nombre des interruptions augmente, la longueur des étincelles de l'excitateur diminue. Il y a donc là deux phénomènes qui varient en sens inverse et qui tous deux influent sur le maximum de puissance du tube. Ce maximum dépend de la self-induction de l'enroulement induit, et les conditions nécessaires à sa production changent pour un même courant avec la bobine employée. L'expérience seule

permet donc de la déterminer (COMPTES RENDUS, 7 avril, p. 811).

Les courants de Tesla ont donné à M. Joubin des photographies en 30 secondes. S'il s'agit d'objets de difficulté moyenne, comme le squelette détaillé d'une main d'adulte, ce résultat est remarquable.

Malheureusement ce dispositif détruit rapidement les tubes. En outre, il gâte les ombres et les images cathodographiques à cause de l'existence de deux lieux cathodiques (S. P. Thompson).

Concentration des rayons X au moyen des champs magnétiques. — Un autre perfectionnement, dont l'idée se sera présentée à l'esprit de bien des chercheurs, est l'emploi d'aimants permanents ou d'électro-aimants dans le but de concentrer les rayons X et de réduire ainsi le temps de pose. Entendons-nous bien : il ne s'agit pas ici d'une action immédiate des champs magnétiques sur les rayons X ; nous savons parfaitement qu'il n'y en a aucune, aussi longtemps du moins que ces rayons n'ont pas été modifiés (voir plus loin). Nous voulons parler d'une action magnétique exercée sur les rayons cathodiques de façon à les concentrer sur une région restreinte et à condenser ainsi une grande partie du rayonnement total du tube.

Cette condensation réussit parfaitement. Par une disposition convenable des pôles magnétiques, on dévie les rayons cathodiques aux environs de la cathode, alors qu'ils ne sont pas encore notablement dispersés ; ou bien on accumule sur une petite plage ces rayons primitivement disséminés sur la calotte anticathodique. Dans les deux cas, on les dirige vers l'ouverture circulaire du diaphragme ; on augmente donc l'intensité sans diminuer la netteté (Meslin ; Imbert et Bertin-Sans ; Chappuis). Le temps de pose peut être réduit dans ces conditions dans le rapport de 8 à 5 (Chappuis).

On peut alors, dans les différentes expériences, utiliser successivement diverses régions du tube. Ce résultat constitue un second avantage qui a son importance; car lorsqu'on emploie toujours la même région, la tache qui était d'abord verte devient peu à peu jaunâtre, à cause d'un léger dépôt brun qui finit par rendre cette région inactive. Au contraire, en déplaçant très peu l'aimant, on peut utiliser chaque fois une partie nouvelle (Meslin).

Cependant la concentration des rayons cathodiques sur la paroi du tube a un inconvénient grave : elle peut amener la fusion du verre. Le remède à ce danger se trouvera dans l'emploi de l'anticathode de S. P. Thompson dont nous parlerons plus loin.

Emploi des substances phosphorescentes et fluorescentes. — Un progrès assez pratique, semblerait-il, est dû à Piltchikof. Il fait tomber les rayons cathodiques sur une substance contenue à l'intérieur du tube et plus fluorescente que la paroi du verre : la durée de pose est alors singulièrement abrégée.

Battelli et Garbasso ont fait une observation analogue. Ils y ajoutent ce résultat curieux : des substances fluorescentes placées derrière la plaque photographique permettent de raccourcir la durée de l'exposition (Comptes rendus, 9 mars, p. 603).

Basilewski (Comptes rendus, 23 mars, p. 270) croit avoir trouvé un autre perfectionnement. Il a appliqué immédiatement sur la couche sensible un écran de papier enduit de platinocyanure de baryum. Il pense avoir ainsi réduit le temps de pose. Les exemples qu'il donne ne sont pas tous convaincants : des pièces de monnaie en *trois minutes;* il n'y a rien de bien remarquable en cela. Ce qui est plus grave, c'est que G. Meslin avait réalisé l'expérience de Basilewski et observé une diminution manifeste de sensibilité au lieu d'un accroissement.

Ce dernier résultat est bien d'accord avec certaines idées théoriques fort caressées à cette heure et dont nous

dirons un mot à la fin de ce travail. Or, si ces vues sont les vraies, les rayons X n'éveillent la fluorescence qu'au prix de la dégradation de leur énergie vibratoire, et, conséquemment, semble-t-il, de leur pouvoir actinique. — Il ne faut cependant pas perdre de vue la curieuse découverte de Ch. Henry que nous allons rapporter tantôt.

Au surplus, il y a quelque temps déjà, le R. P. Thirion a fait et refait jusqu'à six fois une expérience dont l'étrange résultat est du même ordre que celui obtenu par Meslin. Sur un carton bristol est écrit avec du platinocyanure de baryum précisement le nom de cette substance. Le P. Thirion met cette écriture en contact immédiat avec la couche sensible d'une plaque rapide, enveloppe le tout de deux doubles de papier noir et expose aux rayons X. Au développement, on trouve toute la plaque impressionnée, *excepté* aux points de contact du cyanure et de la couche sensible ; or, chose bizarre, sous le rayonnement röntgénien le cyanure doit avoir été illuminé en jaune. Comment ces radiations de la portion moyenne du spectre visible n'ont-elles pas en plusieurs minutes agi sur la couche sensible d'une plaque rapide ? Cela est d'autant plus singulier que Battelli et Garbasso ont photographié directement, par les moyens ordinaires, l'écriture au cyanure illuminée par les rayons X, essai qui devait évidemment réussir. Mais pourquoi le curieux résultat obtenu par le R. P. Thirion ?

Le sulfure de zinc phosphorescent. — Ces recherches rappellent la découverte de Ch. Henry. Sur une plaque photographique, enveloppée de papier aiguille, plaçons un fil de fer, et sur ce fil une pièce métallique. Le tout, exposé au rayonnement d'un tube de Crookes, donnera l'ombre du fil de fer et celle de la pièce ; mais le fil ne se distinguera de la pièce que dans les portions par lesquelles il la déborde, et aux points communs les deux ombres se confondront l'une dans l'autre. Pourtant, si l'on

a eu soin d'enduire au préalable de sulfure de zinc phosphorescent la face *postérieure* de la pièce appuyée contre le fil, l'ombre de celui-ci apparaîtra sur celle de la pièce qui sera devenue plus claire. L'effet est plus marqué si c'est la face *extérieure* de la pièce qui a reçu l'enduit.

Ce résultat semble susceptible de très utiles applications. Obtenir les ombres de corps opaques aux rayons X enfouis dans un milieu plus ou moins absorbant d'une certaine épaisseur est une opération longue. Cest ainsi qu'il faut facilement, avec les moyens ordinaires, 20 minutes de pose pour cathodographier les os du bras d'un jeune homme ; cette durée d'exposition est même insuffisante pour obtenir une image nette et vigoureuse des os du mollet. Un moyen très convenable pour arriver plus rapidement à ces résultats serait, semble-t-il, d'enduire de sulfure phosphorescent la face du membre non appliquée sur la plaque. Qui sait si ce même procédé ne permettrait pas de tenter avec succès la cathodographie à travers toute l'épaisseur du corps et d'obtenir une image des organes intérieurs ?

La portée pratique de la découverte de Ch. Henry est immense, on le voit. Sa signification théorique est tout aussi importante. Elle montre qu'une partie des rayons X, incapable par elle-même de traverser certains milieux, acquiert au contact du sulfure phosphorescent l'énergie nécessaire à cet effet. Elle constitue une première preuve de l'hétérogénéité de ces rayons.

Il est à regretter que certains auteurs ne définissent pas toujours suffisamment les conditions dans lesquelles ils ont réalisé des cathodographies : aucun détail sur la nature de l'objet soumis à l'épreuve, sur l'ouverture du diaphragme employé, etc. Sans ces indications, quelle conclusion tirerons-nous de l'énoncé du résultat ? Cela ne nous apprend pas grand'chose. On nous dira que, par les moyens ordinaires, en moins d'une minute on a obtenu d'excellentes images. Peut-être cela est-il remarquable :

le tout serait de savoir de quoi il s'agit. Nous avons cité tels objets dont la cathodographie exige moins de temps encore. Meslin a même réalisé la *cathodographie instantanée*. Il place un fil de platine ou une pièce d'or à un centimètre de la source, fait à la main une seule interruption de l'inducteur et enlève le cliché. La pose dure donc tout juste autant que l'étincelle. On ne peut pas dépasser ce minimum (COMPTES RENDUS, 30 mars, p. 778).

Plus commode, plus rapide, préférable de tous points à la cathodographie sera l'*observation quasi directe au moyen de la fluorescence,* quand elle pourra se faire dans de bonnes conditions de luminosité.

A l'exemple de Röntgen, on emploie communément l'écran au platinocyanure de baryum : c'est un morceau de carton bristol sur lequel on a fixé au moyen de glycérine, par exemple, la substance précitée, une poussière d'un jaune d'or. La netteté de l'image, l'emploie du diaphragme la garantit ; mais la lueur est trop faible. Elle suffit à reconnaître les contours délicats d'une pièce de métal ajourée cachée dans la pochette intérieure d'un double porte-monnaie. Les métacarpiens ou os de la paume se voient nettement dans une main d'adulte ; on y distingue les phalanges des doigts. Dans le bras, on devine le radius et le cubitus. Mais diagnostiquer une transformation des os à l'aide de l'écran banal est une pure impossibilité.

Récemment le Dr Edm. Van Melckebeke d'Anvers a préconisé l'emploi du florure double d'uranyle et d'ammonium.

Le R. P. Van Geersdaele, S. J., a fait des écrans au moyen de cette substance. Son procédé sera publié dans le BULLETIN de la réunion de Pâques de la Société scientifique de Bruxelles. Comme luminosité, le fluorure double d'uranyle et d'ammonium vaut le platinocyanure de baryum ; il a sur lui l'avantage très appréciable de coûter environ 60 fois moins cher.

Édison vient de câbler à lord Kelvin que le tungstate de calcium est merveilleux. « Il rendrait la photographie inutile. »

Il ne semble pas que le tungstate de calcium consente à tenir la promesse faite par Édison en son nom ; à moins toutefois que le savant américain ne nous en fasse connaître une modification différente de celle qui a été étudiée en Angleterre. Cela n'est pas impossible. La phosphorescence et la fluorescence tiennent parfois à de si légers détails, — même à certaines impuretés du produit.

Toujours est-il que, pour le moment, la meilleure substance luminescente aux rayons X paraît être le *platinocyanure de potassium*. S. P. Thompson nous dit qu'il est douze fois plus lumineux que le platinocyanure de baryum, et qu'avec un écran de 18 centimètres de diamètre et un bon tube il a fait voir l'ombre des os de la main, l'espace entre les os du bras, et le contenu d'une bourse, à une vingtaine de personnes à la fois (COMPTES RENDUS, 7 avril).

Dans ces conditions, ou entrevoit la possibilité de la photographie presque instantanée des silhouettes peintes sur l'écran luminescent, photographie ordinaire, s'entend. Ce serait un grand progrès.

Déjà ELECTRICAL REVIEW propose l'application industrielle de l'écran fluorescent, par exemple au contrôle de l'homogénéité des plaques métalliques, à l'inspection des installations électriques intérieures. Sans toucher aux moulures qui les dissimulent, ni à l'enduit qui les isole, on vérifierait la grosseur des fils conducteurs, leurs joints, l'état des soudures, etc.

La cathodographie réussit très bien à déceler certaines impuretés qui servent à falsifier tel ou tel produit. Sur l'invitation de M. Ranwez, professeur à l'Université de Louvain, le R. P. Thirion a soumis au rayonnement X quatre échantillons de safran disposés sur une même plaque. Le safran pur s'est montré transparent. Dans les trois autres

échantillons, on remarque des fibrilles opaques d'autant plus nombreuses que l'échantillon est plus impur. L'agent de cette falsification est le sulfate de baryte : ses deux composants, soufre et baryum, de poids atomique élevé, lui donnent une très grande opacité aux rayons Röntgen.

La même méthode découvrirait également le kaolin, le plâtre, frauduleusement incorporés à la farine.

Elle peut même servir à distinguer le diamant et le jais naturels de leurs imitations. Le diamant est imité le plus souvent par des verres denses riches en plomb, d'indice de réfraction élevé ; parfois, on taille en brillants le cristal de roche, le corindon, le grenat décoloré, etc. ; ces imitations sont beaucoup plus opaques aux rayons X que le diamant véritable (Buguet et Gascard) (1). Tel qu'il est, le procédé a cet avantage qu'avec son aide on peut éprouver ces pierres dans leurs montures, sans leur faire courir de risques. En outre, l'emploi des plaques sensibles fournit des documents durables, susceptibles d'être produits partout. Il a pourtant l'inconvénient d'être long et dispendieux. Les recherches de vérifications courantes ne peuvent s'en accommoder.

Une fois de plus, il serait vivement à souhaiter que l'écran fluorescent, rendu plus lumineux, devienne d'autant plus efficace et plus pratique. Toutefois, dès maintenant, on réussit à répéter les essais précédents vite et sûrement avec un tube médiocre et un écran luminescent. Comme toujours, l'emploi du diaphragme est vivement à recommander.

A propos des écrans fluorescents, les journaux ont fait grand bruit autour d'un appareil inventé par M. Salvioni et aussi, à ce qu'il semble, par M. Swinton. La description vague ou étrange qu'ils donnent de son principe ne permet guère de s'en faire une idée. Volontiers on croirait

(1) Buguet et Gascard viennent de publier dans LA NATURE (n° 1193, 11 avril, pp. 293, 294) un exposé détaillé et fort intéressant de l'ensemble de leurs recherches sur *Les Rayons X et le diamant*.

qu'il s'agit d'un tube abritant l'œil contre toute lumière étrangère et, par suite, favorisant l'observation d'un champ assez faiblement éclairé. Une extrémité du tube serait fermée par un écran au platinocyanure, et l'autre porterait une lentille faisant office de loupe. A ce compte, M. Salvioni n'aurait fait que simplifier légèrement le procédé courant des expériences relatées tout à l'heure et que tous ceux qui se sont occupés des rayons X ont, sans doute, répétées.

Nous venons de décrire les deux méthodes d'observation des rayons X, les principaux perfectionnements qu'elles ont déjà reçus et leurs desiderata. Écrans fluorescents et plaques photographiques ont été employés de pair dans des recherches nombreuses et variées sur les propriétés des rayons X. Plusieurs fois, dans le cours de notre exposé, nous avons fait allusion à ces recherches. Nous avons maintenant à en grouper les principaux résultats.

Röntgen et d'autres physiciens à sa suite vérifièrent d'abord qu'*aucun corps n'est essentiellement opaque au rayonnement X,* et mesurèrent avec plus ou moins de précision le *pouvoir absorbant* de diverses substances.

Parmi les *solides,* le papier est très transparent : l'écran fluorescent s'illumine quand on le place derrière un livre de mille pages ; l'encre d'imprimerie n'offre pas de résistance sensible. Des planches de deux à trois centimètres d'épaisseur absorbent très peu les rayons. C'est d'ailleurs là un caractère qui accompagne le carbone dans ses différents états (charbon, graphite, lignite, diamant). Cet exemple montre bien que la transparence à la lumière naturelle et aux rayons X sont des propriétés d'ordres absolument distincts, indépendantes l'une de l'autre. L'ébonite, corps très opaque, est transparente au rayonnement du tube à décharges sous une épaisseur de plusieurs centimètres, tandis que le verre ordinaire, le cristal

surtout, en raison du plomb qui entre dans sa composition, constituent pour ces mêmes rayons un obstacle sérieux.

Les *métaux* sont assez opaques. Le plus opaque des métaux solides usuels, le platine, est facilement traversé à l'état de feuille extra-mince de 0,01^{mm} d'épaisseur ; mais déjà une feuille de 0,2^{mm} de cette substance constitue un écran parfait. L'aluminium est exceptionnellement transparent : un bloc de 15^{mm} d'épaisseur diminue beaucoup la fluorescence, mais ne l'éteint pas tout à fait. L'aluminium est 200 fois plus transparent que le platine et environ 70 fois plus que le plomb.

Naturellement on s'est demandé à quoi pouvaient s'attribuer ces inégalités de transparence. Un simple coup d'œil sur les détails qui précèdent fait pressentir une connexion intime entre la densité des corps et leur pouvoir absorbant à l'égard des rayons X. Plus un solide est lourd, plus il est opaque (vérifié sur cinquante solides par Battelli et Garbasso). L'opacité des corps croît notablement plus vite que leur densité. Mais on ne peut pas dire que, de deux solides inégalement absorbants, celui qui l'est le moins est nécessairement plus léger que l'autre. Ainsi le spath d'Islande est beaucoup plus transparent que le verre et le quartz, bien qu'il ait approximativement la même densité (Röntgen).

Treize *liquides* étudiés au même point de vue et classés suivant leur transparence se sont trouvés, comme les solides, rangés dans l'ordre de leur légèreté ; mais, à égale densité, ils sont un peu plus transparents que les solides (Battelli et Garbasso). L'opacité du mercure est énorme, de l'ordre de celle du platine. Perrin injecta de mercure le système circulatoire d'une grenouille et obtint la cathodographie du réseau des artères et des veines. Pourtant, chose assez étrange, le zinc amalgamé montre une certaine transparence (Chabaud).

Les *gaz* sont transparents, et tous sensiblement au même degré, quelle que soit la différence entre les

densités : l'hydrogène, quinze fois plus léger que l'air, n'est guère plus transparent que lui. C'est là une nouvelle divergence entre les rayons X et les rayons de cathode.

L'espèce chimique exerce une influence très considérable sur le pouvoir absorbant des corps composés.

Les sels métalliques solides ou en solution se comportent généralement comme les métaux eux-mêmes (Röntgen) ; l'opacité croît avec les poids atomiques du métal et du métalloïde.

Nos encres étant d'ordinaire à base métallique, ne doit-on pas craindre de voir le secret des correspondances livrées, même à travers l'enveloppe scellée et cachetée, à de trop faciles indiscrétions? Nullement. L'essai a été fait. La teneur en métal est sans doute trop faible. Mais, insistera un esprit inquiet, l'insuccès ne tient-il pas à un défaut de sensibilité du procédé actuel, et ce procédé ne va-t-il pas être perfectionné incessamment? Nimporte : rien de plus simple que d'échapper à toute crainte. Employons exclusivement les encres d'aniline : elles sont exemptes d'éléments métalliques et composées seulement de carbone, d'hydrogène et d'azote. Or, Meslans l'a montré, le carbone, combiné à ces éléments ou encore à l'oxygène, est doué d'une transparence toute particulière. Voilà pour les fabricants d'anilines un thème à réclames fin de siècle.

Ajoutons sans retard que l'introduction dans la molécule organique d'autres éléments minéraux et, en particulier, du chlore, du soufre, du phosphore et surtout de l'iode, lui donne une opacité considérable (Meslans). Nous aurons tout à l'heure des conclusions à tirer de ces résultats.

Les expériences de Ch. Girard et F. Bordas sur la composition des *engins explosifs* doivent être citées. La cathodographie révèle d'abord évidemment la présence d'une boîte en métal suspecte cachée dans une enveloppe transparente aux rayons X, par exemple dans un livre évidé. Si, en outre, la boîte renfermant l'explosif est en bois, on

pourra y révéler l'inclusion de certaines matières dangereuses : les résultats obtenus par Meslans nous permettent de prédire que, par exemple, le *ferrocyanure*, le *chlorate* de potasse, le *soufre* trahiront leur présence par leurs ombres. Malheureusement, d'autres composés bien plus terribles que les substances précédentes, comme la nitroglycérine, échappent aux investigations du nouvel agent.

Il n'est pas même nécessaire, semble-t-il, que la boîte soit en bois ou autre matière transparente aux rayons X. Si elle est opaque, le sulfure phosphorescent de Ch. Henry permettrait sans doute d'en explorer le contenu sans l'ouvrir.

Un mot sur l'*insensibilité de la rétine*. Quelque près que l'œil soit de l'appareil à décharges, il ne voit absolument rien. Röntgen déclare dans son mémoire (n° 6) que cela n'est pas dû à un défaut de perméabilité de la part de l'œil. Il croyait pouvoir le conclure de ses expériences.

La question a été reprise de divers côtés. X. Dariex et de Rochas veulent que, contrairement à l'opinion de Röntgen, l'insensibilité de l'œil tienne avant tout à la forte absorption de ces rayons par les milieux de l'œil. Frédericq à son tour a trouvé que le cristallin est assez transparent : il l'est à peine moins que les cartilages ou les muscles, par exemple. Or, ajoute-t-il, ces tissus ne laissent pas de trace sensible sur les épreuves cathodographiques.

Cette réfutation de Dariex et de Rochas est-elle péremptoire ?

Une chose est certaine. Quand la pose est très réduite, les chairs portent une ombre très sensible sur les plaques photographiques, et si, à la fin, elles s'atténuent et disparaissent, c'est que les effets successifs des rayons constamment envoyés par le tube s'ajoutent toujours au même point et finissent par former une somme considérable. Les choses ne se passent pas précisément de même dans l'œil. A la vérité, cet organe se fatigue sous un rayon-

nement intense, et, plongé dans l'obscurité, il s'habitue peu à peu à saisir de faibles lueurs qui lui échappaient d'abord; mais cela est affaire de disposition, de conditions d'observation, et non le résultat de l'addition d'effets successifs. L'œil, même parfaitement reposé, ne reste-t-il pas toujours insensible à des radiations comprises dans la gamme du spectre visible, mais d'une énergie inférieure à une certaine valeur que l'on pourrait sans doute préciser ?

Néanmoins, nous nous rallions à l'opinion de Fréderieq quand il place *la cause de l'insensibilité de la rétine* dans *la nature même des rayons X.* Nous savons, dit-il, que l'excitant spécifique des cônes ou des bâtonnets est exclusivement représenté par une catégorie d'ondulations éthérées à période déterminée (rayons du spectre solaire compris entre le rouge et l'ultra-violet). Il est donc tout naturel que les rayons X, que personne ne songe à ranger dans la catégorie de ces rayons spectraux, se montrent indifférents vis-à-vis de la rétine, comme ils se montreront sans doute inactifs vis-à-vis des autres organes des sens : l'oreille, la langue, la peau...

Nous ne voudrions cependant pas nier que le cristallin ne puisse être un obstacle à la transmission de certaines radiations. On sait en effet que, chez les sujets opérés de la cataracte, la rétine est sensible à des rayons que ne perçoit pas l'œil normal.

Quant aux autres organes des sens, Lénard a pu constater une influence des rayons cathodiques sur le goût. Il croit, il est vrai, devoir l'attribuer, de même que leur odeur apparente, à la production de l'ozone. Mais la preuve n'en est pas faite, et, à leur sujet comme à celui des rayons X, la réserve est le parti le plus sûr.

Une autre application des résultats recueillis sur la transparence aux rayons X des diverses substances intéresse directement la technique de leur production. Un point extrêmement important à cet égard est la valeur du

tube. Et cette remarque n'est pas absolument naïve, vu la rareté des bons tubes. Qu'on les choisisse donc avec soin ! Le conseil est aisé à donner. Malheureusement, pas un constructeur peut-être ne pourrait nous définir avec certitude les conditions d'un bon tube. Il reste toujours la possibilité de l'essayer ! Oui, cela nous garantira la valeur actuelle, mais combien de temps la gardera-t-il ? Pour une raison ou pour une autre, difficile à éclaicir, des tubes excellents se sont refusés bientôt à travailler. Du reste, il est à souhaiter que le prix de ces appareils baisse considérablement, ce qui n'arrivera qu'au moment où les constructeurs auront établi les règles fixes et infaillibles de la production d'un bon tube.

Les recherches de Chabaud élucident un premier point : la question de la *nature du verre à employer pour l'ampoule.* Les verres à base de soude, de potasse, de chaux et le verre allemand sont les bons : ils sont très transparents aux rayons X. Mais il faut rejeter les tubes de cristal et ceux en verre d'urane.

Nous avons eu la chance de constater de notre côté l'excellence du verre de Bohême. Il se fabrique avec le carbonate de potassium uni au carbonate de calcium et à la silice pure. Notre meilleur tube est tout simplement un vase d'Erlenmeyer en verre de Bohême transformé, à titre d'essai peut-être, en ampoule de Crookes. Sa phosphorescence propre est loin d'être bien vive, mais son rendement en rayons X est élevé, supérieur à celui d'un tube en verre d'Allemagne fourni par la même maison (Leybold's Nachfolger de Cologne).

Une qualité du verre de Bohême très appréciée dans l'occurrence est son point de fusion très élevé. Sous le rayonnement cathodique, la paroi de l'ampoule s'échauffe considérablement ; elle peut être portée à l'état pâteux par une action prolongée. Inévitablement alors, sous l'effort de la pression extérieure, une fissure se produit et le tube est hors d'usage. Si l'on emploie pour les tubes le

verre d'Allemagne fusible qui a beaucoup servi à la construction des anciens appareils de Crookes, le danger que nous signalons est plus grand ; un verre de Bohême résistera mieux. Et si l'on veut se mettre à l'abri de tout accident, il suffira de plonger l'extrémité anticathodique du tube dans un petit vase de celluloïd rempli d'eau (d'Arsonval).

S. P. Thompson (Comptes rendus, 7 avril, p. 807) s'est efforcé de fixer une *seconde règle pour la construction des tubes* à rayons X. Quel *degré de vide* faut-il réaliser pour obtenir un bon rendement ?

Jusqu'ici nous nous étions contenté de dire que le vide de Crookes était nécessaire pour la production des rayons Röntgen. Cela ne suffit pas tout à fait. Les ombres cathodiques, la luminescence des parois apparaissent avant que ces rayons ne soient émis en quantité notable. Le moment précis auquel il convient d'arrêter l'opération coïncide avec une assez brusque variation de la résistance du tube.

Pour déterminer ce moment, on met en dérivation sur le circuit qui contient le tube un excitateur à pointes. Quand la résistance du tube est si faible que l'étincelle ne jaillit plus entre ces pointes, écartées seulement de 2^{mm}, on obtient les phénomènes de Crookes. Mais à ce moment un écran fluorescent ne montre pas encore la moindre trace de rayons X ; toutefois une plaque sensible, exposée assez longtemps, donne une image. On continue l'évacuation, et, brusquement, il se produit un accroissement de résistance tel qu'il faut écarter les pointes de l'excitateur de plusieurs centimètres. C'est juste à cet instant qu'éclatent les rayons X (1).

Pendant cet accroissement de résistance, on observe le tube au moyen de l'écran fluorescent. Mais pour pou-

(1) Si le tube n'a jamais été vidé auparavant, le passage de l'état de faible résistance à celui d'une résistance plus grande ne se produit pas aussi subitement ; mais si le tube a déjà été amené au second état, et qu'on laisse rentrer un peu d'air pour recommencer l'évacuation et éliminer les gaz absorbés par les parois et par les électrodes, alors le passage est très brusque.

voir décrire les phénomènes signalés par S. P. Thompson, il nous faut ajouter que, dans ses tubes, le jet cathodique n'est pas reçu directement sur la paroi opposée. Le savant professeur dispose à l'intérieur de ses ampoules une lame inclinée de 30° à 40° sur l'axe de l'appareil : cette lame est en platine nu ou recouvert soit de verre, soit d'un émail phosphorescent, composé de sulfure de calcium et d'émail transparent ordinaire. C'est elle qui est opposée au rayonnement du pôle négatif, et il l'appelle *anticathode* (1).

Voici donc ce que l'on trouve pendant la variation brusque de la résistance. Dans toute l'ampoule s'est développée une lueur, excepté dans le plan de l'anticathode. Car, sur l'écran fluorescent, se projette une ligne noire très nette entre deux régions éclairées. La ligne noire — on s'en assure facilement — correspond au plan de l'anticathode. Des deux portions éclairées, l'une reçoit sa lumière de la région au-dessus de l'anticathode, l'autre de la région au-dessous. La trompe de Sprengel fonctionnant toujours, la région située derrière l'anticathode s'assombrit de plus en plus, et, après deux ou trois secondes, on ne voit plus sur l'écran qu'une région noire et une région lumineuse, dont la limite oblique correspond à la position du plan de l'anticathode. Le tube est alors dans la meilleure condition pour produire les effets Röntgen, soit par voie actinique, soit par illumination des écrans fluorescents.

Il n'y a qu'à perdre à pousser le vide plus loin (2).

(1) Nous conserverons cette dénomination, et nous l'appliquerons non seulement à cette lame mais encore à toute portion de surface soit de la paroi, soit de tout autre objet intérieur au tube frappé par les rayons cathodiques.

(2) On a remarqué que le degré du vide allait en augmentant dans certains tubes de Crookes et que ceux-ci ne tardent pas à ne plus fonctionner. On peut alors leur rendre leurs propriétés premières en les réchauffant dans une étuve à 200° (A. Lafay, COMPTES RENDUS, 7 avril, p. 810). Cela est d'accord avec le résultat de Gouy, qui a montré que les rayons cathodiques font pénétrer dans le verre les gaz du tube, qui restent ensuite occlus jusqu'à ce que le ramollissement du verre par la chaleur les mette en liberté (COMPTES RENDUS, 30 mars, p. 775).

James Chappuis, de son côté, trouve que le tube devient bon quand la pression intérieure est voisine de $\frac{1}{500}$ de millimètre de mercure ou de trois millionièmes d'atmosphère (Comptes rendus, 30 mars, p. 778).

Nous avons déjà dit que James Chappuis avait obtenu le squelette d'une main d'adulte en *une* minute. S. P. Thompson, avec les tubes dont nous venons de décrire la construction, atteint le même résultat en 40 secondes. 20 secondes suffisent à cathodographier des monnaies renfermées dans une bourse. G. Meslin tient toujours le record : une silhouette des os de la main en 25 secondes !

Nous avons donc établi que les nouveaux rayons se propagent dans l'air, passent à travers les corps. Voyons maintenant quelles sont les lois qui régissent la direction de cette propagation; et, pour suivre l'ordre classique, étudions successivement la propagation à travers un milieu homogène, puis la déviation subie à la surface de séparation de deux milieux, enfin la déviation au passage d'un milieu dans un autre.

Ces considérations seront nécessairement un peu arides. Les résultats acquis jusqu'ici sont vagues, flottants, incomplets. Nous traiterons ces questions brièvement.

Propagation à travers un milieu homogène. — Dans un milieu homogène, comme l'air, *les rayons X marchent en ligne droite* (Röntgen). Cette proposition se déduit immédiatement de la régularité des silhouettes que l'on obtient en interposant un corps plus ou moins opaque aux rayons X entre la source et un écran fluorescent ou une plaque photographique. Ce que l'on observe sur l'écran, c'est l'ombre portée par le corps opaque interposé, absolument comme lorsque, entre une source de lumière ordinaire et une surface qu'elle éclaire, nous interposons un corps non transparent. Les rayons X se propagent donc à ce point de vue comme les rayons lumineux. C'est précisément en

vertu de cette propriété que Röntgen les a appelés « rayons. »

Les silhouettes des corps opaques noyés dans des milieux transparents aux rayons X, comme les os dans les chairs, la vrille d'un tire-bouchon dans un bouchon, sont régulières elles aussi. Les rayons X se propagent donc rectilignement non seulement dans l'air, mais en général dans tous les milieux qui leur sont perméables.

Perrin reprit la démonstration directe de cette première propriété au moyen d'un dispositif simple qu'il est inutile de décrire. Son résultat fut la confirmation de celui de Röntgen.

Une autre vérification intéressante indiquée par Röntgen, et qui a été renouvelée dans notre laboratoire de Louvain, consiste à prendre à la chambre obscure la cathodographie de toute la région active de la paroi du tube. Soit un appareil ordinaire de photographie. L'objectif, qui n'a rien à voir avec les rayons X, a été remplacé par une plaque de métal formant écran parfait à ces rayons. Une ouverture d'un millimètre de diamètre y est pratiquée. Chacun sait que cet appareil étant tourné vers un objet éclairé, l'image renversée de cet objet vient de peindre sur la glace dépolie, image plus ou moins grande suivant la distance de l'objet à l'ouverture et de l'ouverture à la glace dépolie, mais toujours nette avec une ouverture petite. Devant l'ouverture, plaçons un tube de Crookes en activité. Les choses restant dans l'état, si l'on remplaçait la glace dépolie par une plaque sensible, on obtiendrait dans une pièce obscure une image du tube identique à celle que perçoit l'œil. Mais, sur l'ouverture, collons deux ou trois feuilles de papier noir. La lumière est arrêtée, les rayons X conservent seuls la faculté de passer par le petit orifice et vont dessiner sur la plaque sensible l'image de tous les points du tube d'où émanent les rayons X. L'image est faible en raison de l'exiguïté d'énergie rayonnante reçue à travers une ouverture aussi réduite ; mais elle est très

nette. Et sa formation suppose nécessairement la propagation rectiligne des rayons actifs.

Déviation à la surface de séparation de deux milieux différents, ou, plus simplement, *étude de la réflexion des rayons X. — Les rayons X ne subissent pas la réflexion régulière* (Röntgen).

Un rayon de lumière ordinaire tombant sur une surface polie rebondit dans une direction parfaitement déterminée sans pénétrer dans le corps réfléchissant. Il n'en va pas de même des rayons X. Perrin le vérifia au moyen de deux miroirs faits de substances opaques aux nouvelles radiations. Un pinceau de rayons X défini par deux fentes de $0^{mm},5$, distantes de 4 centimètres, rencontrait sous un angle de 45° un miroir d'acier poli, d'où, après réflexion, il aurait pu tomber sur un châssis chargé ; après une heure de pose, on n'obtint absolument aucune impression. Il en a été de même avec une plaque de flint comme miroir, bien que la pose ait duré sept heures. Il n'y a donc pour les rayons X ni réflexion vitreuse ni réflexion métallique, ou, tout au moins, la proportion des rayons réfléchis régulièrement doit être très faible (Imbert et Bertin-Sans).

Les rayons X subissent, à la rencontre des corps qui leur sont opaques, la réflexion irrégulière ou diffusion, à la façon des rayons de lumière ordinaire tombant dans un milieu trouble (Röntgen). Il n'est pas douteux qu'une partie d'un faisceau de rayons X tombant sur un solide de grande densité ne revienne sur ses pas ; seulement ce retour ne s'effectue pas suivant une seule direction déterminée, si ce n'est peut-être pour une partie très faible du faisceau incident. La diffusion, au contraire, peut être considérable. Son intensité paraît dépendre beaucoup plus de la nature que du degré de poli du corps diffusant. Ce fait conduirait à attribuer aux nouveaux rayons une longueur d'onde très petite et telle qu'il n'est pas possible

de réaliser le degré de poli nécessaire pour en déterminer la réflexion régulière. Dans ce cas, les rayons pourraient pénétrer à l'intérieur des corps et seraient alors renvoyés par les molécules dans toutes les directions.

C'est par la diffusion, semble-t-il, qu'il faut expliquer une curieuse expérience de Röntgen, où l'on pourrait être tenté de voir un phénomène de réflexion proprement dite.

Une plaque photographique, protégée par une feuille de papier noir, est exposée aux rayons X de façon que la face libre regarde le tube à vide. Sur la couche sensible, on place des étoiles de platine, de plomb, de zinc, d'aluminium, etc. Au développement, on trouve la plaque fortement impressionnée devant le platine, le plomb, spécialement devant le zinc ; l'aluminium ne donne pas d'image. Il y a eu diffusion du rayonnement X dans les premières couches des corps opaques, et transmission sans obstacle à travers l'aluminium.

Réfraction. — Une autre expérience de Röntgen semblerait prouver que les rayons X ne sont pas davantage réfractés par les corps. On sait, en effet, que les corps transparents à la lumière ordinaire se montrent opaques quand ils sont réduits en poudre. Le sel gemme, par exemple, est transparent, tandis que le sel en poudre est blanc et opaque. Cela tient aux réflexions et réfractions multiples éprouvées à la surface de tous les grains de sel. Une grande partie de la lumière finit par être renvoyée du côté de la lumière incidente, et presque rien ne traverse la couche de poussière. Or, les rayons X traversent avec la même facilité une épaisseur égale d'un corps à l'état de solide compact et à l'état de poussière (argent électrolytique, poussière de zinc).

Röntgen eut la prudence de ne pas conclure positivement à l'absence de réfraction. Au surplus, si des prismes d'eau et de sulfure de carbone ne lui avaient fait voir aucune déviation, des prismes d'aluminium lui avaient

permis d'en soupçonner une. Toutefois, dans cette question délicate, ses mesures paraissent avoir un peu manqué de précision.

D'après les expériences récentes de Perrin, *la réfraction dans les prismes d'aluminium est certaine*. Elle a été nettement observée avec trois prismes différents. L'indice serait inférieur à l'unité.

Trouvera-t-on une lentille pour concentrer les rayons X? On avait pour ainsi dire renoncé à cet espoir après les premiers essais de Röntgen : des lentilles d'ébonite et de verre de grandes dimensions n'avaient montré aucun pouvoir convergent. Perrin a trouvé, en outre, que la paraffine et la cire ne pouvaient rendre aucun service. La lentille de verre eût toujours été peu avantageuse, à cause de la grande résistance offerte par cette substance au passage des rayons X. Dès lors qu'une réfraction a été observée, il n'est peut-être pas interdit d'espérer qu'on rencontrera une substance douée simultanément d'une grande transparente et d'un pouvoir réfringent notable. Modelée suivant la forme convenable, cette substance rendrait dans la cathodographie des services analogues à ceux des lentilles ordinaires en photographie.

Le R. P. Thirion a imaginé une expérience qui fait bien ressortir la différence qu'il y a entre la lumière ordinaire et les rayons X au point de vue de la réfraction. Il prend trois tubes à essai en verre mince, verse dans le premier de l'eau, dans le second du sulfure de carbone, dans le troisième du baume de Canada, et plonge dans chacun de ces liquides une baguette de verre. Les trois tubes sont placés devant une plaque photographique, enveloppée de papier aiguille, et le tout est exposé au rayonnement X.

A la lumière ordinaire, la réfraction fait paraître la partie de la baguette qui plonge dans l'eau plus mince que celle qui émerge de ce liquide ; inversement, dans le tube

à sulfure de carbone, la partie immergée semble plus grosse que l'autre ; et dans le baume de Canada, dont l'indice de réfraction est égal à celui du verre, la baguette disparaît et tout le contenu du tube est uniformément transparent.

Sur le cliché fourni par les rayons X, les apparences sont tout autres. D'abord, le sulfure de carbone est très opaque à ces rayons, et l'ombre de la baguette, à partir du point d'immersion, se perd dans l'ombre de ce liquide. En revanche, le baume de Canada, étant assez transparent aux rayons Röntgen, ne produit qu'une ombre légère sur laquelle se détache en noir la silhouette de la portion de la baguette qui y plonge. En outre, pas de trace sensible de réfraction : l'ombre de la portion de baguette en dehors du liquide et celle de la portion immergée ont même diamètre. Résultat analogue pour le troisième tube à essai : la baguette de verre se différencie nettement de l'eau et sa grosseur apparente est invariable sur toute sa longueur.

Nous ne citerons que pour mémoire les résultats négatifs obtenus par Röntgen dans ses recherches *sur l'interférence des rayons X* et *sur l'action* qu'ils pourraient subir de la part *des corps cristallisés*. Perrin n'a pas pu davantage produire avec eux des franges de *diffraction*. Ces questions sont délicates : la difficulté que l'on éprouve jusqu'ici à dévier les rayons X, — vu qu'ils ne se réfléchissent pas régulièrement, se réfractent à peine et sont insensibles à l'aimant, — rend en particulier les expériences d'interférence presque impossibles.

Galitzine et de Karnojitski, au moyen de lames minces de tourmaline, paraissent avoir établi que les rayons X peuvent se polariser. Cela prouverait qu'ils sont dus à des vibrations transversales de l'éther comme les radiations lumineuses (Comptes rendus, 23 mars, p. 718).

A la vérité, Henri Becquerel a fait la même expérience et a obtenu un résultat négatif (Comptes rendus, 30 mars, p. 762). L'affirmation des savants russes demande donc à

être soumise à un nouveau contrôle. On peut augurer qu'elle en sortira indemne, vu que leur essai a été renouvelé jusqu'à huit fois, toujours avec le même succès. Pour renforcer leurs négatifs, ils ont en recours à un ingénieux procédé dû à Bourinsky. On conçoit que, grâce à ce moyen, ils aient pu mettre en évidence une action très faible qui autrement eût passé inaperçue.

Venons maintenant aux questions ultérieures qui intéressent plus directement les applications actuelles des rayons X.

Centres d'émission des rayons X. — La propagation rectiligne des rayons X à travers l'air une fois établie, il est facile de déterminer quels sont les points d'où ils émanent. La première hypothèse qui se présente à l'esprit, c'est que ces rayons partent de la cathode tout comme les rayons cathodiques, traversent le verre de l'ampoule et, de là, vont en ligne droite par l'atmosphère. De nombreux essais montrèrent à Röntgen qu'il n'en est pas ainsi.

La source des rayons X n'est pas à la cathode, mais sur la paroi interne du tube, ou, plus généralement, aux points où un obstacle quelconque arrête le rayonnement cathodique. De ces points les rayons partent dans toutes les directions (Röntgen ; vérifié et généralisé par Perrin et S. P. Thompson). — La vérification est aisée. Il suffit d'observer l'ombre portée par un corps opaque sur l'écran fluorescent ou sur la plaque sensible.

Il est étrange que quelques observateurs aient cru avoir établi que les rayons X partaient de la cathode elle-même. Que font-ils donc de cette expérience de Röntgen si facile à répéter ? On interpose à une certaine distance de la plaque et du tube un objet opaque, une petite pièce de monnaie par exemple, et l'on met le tube en activité. L'ombre portée a une position déterminée. Après deux ou trois minutes, on approche un aimant du tube de façon à dévier nettement le jet cathodique et à transporter ainsi

de côté la grande fluorescence ; on pose encore une minute ou deux (pas trop longtemps, de peur d'effacer la première ombre). Sur la plaque, au développement, on trouve deux ombres de l'objet opaque, dans des positions qui indiquent bien l'exactitude de la proposition de Röntgen.

Sous le jet cathodique, les parois du tube et divers obstacles atteints par ce jet deviennent luminescents. Quelle est l'importance de ce phénomène? La luminescence comme telle n'agit-elle que faiblement? Tout porte à le croire, vu que Röntgen a obtenu des rayons X au moyen d'un tube fermé par une lame d'aluminium de 2^{mm} d'épaisseur. La fluorescence visible n'est donc pas nécessaire. Mais, au moins, est-elle dans les tubes de verre la marque des régions actives. Toutefois nous nous garderions bien de dire que, de deux plages voisines, la plus brillante est la plus active. Nous avons exécuté nous-même une photographie qui démontre la grande efficacité du centre de la région d'éclat maximum de notre meilleur tube : or ce centre est plus sombre que la région annulaire qui l'entoure, et qui est un peu moins énergique que lui.

Plus étrange encore est l'affirmation qui prétend que les rayons X émanent de l'anode. Pour nous, nous n'avons pu déceler qu'une action photographique d'une faiblesse extrême en face de l'anode, et aucune action fluorescente sur l'écran au platinocyanure.

Ce dernier point a été vérifié vingt fois. Très souvent nous avons refait des essais au moyen du dit écran, souvent aussi nous avons montré à des visiteurs ces phénomènes curieux. La manœuvre du commutateur amenait-elle l'anode en face de l'écran au platinocyanure, celui-ci restait obscur, tandis qu'il s'illuminait vivement quand, par le renversement du courant, il se trouvait en face de la plage luminescente sous le rayonnement cathodique.

Quant à la photographie, nous avons fait deux clichés relatifs à la question qui nous occupe. Nous allons les décrire. Chacun porte un certain nombre d'images d'un

objet identique, ayant posé toujours le même temps, mais sous des rayonnements différents. La plaque était divisée en compartiments égaux par des écrans mobiles. A chacun de ces écrans, pendant la durée d'une pose partielle, on substituait l'objet. Puis l'écran était replacé sur le compartiment impressionné.

L'identité de l'objet, de la plaque, du développement, de toutes les conditions, en un mot, à part celles-là seulement dont nous voulions apprécier l'influence, nous garantissait des résultats parfaitement comparables.

La première plaque a pour but de rechercher l'*efficacité photographique respective des diverses régions du tube.*

L'objet est une spirale d'un centimètre de diamètre en fil de fer. Ses diverses portions sont à des distances variables de la plaque ; il sera difficile d'en avoir une cathodographie nette. C'est ce qui a dicté notre choix.

Le tube reste toujours à dix centimètres de la plaque. Chaque compartiment pose deux minutes.

Ici, comme dans la plupart de nos expériences, le châssis est constitué par un simple sachet de soie caoutchoutée.

Nous employons d'abord le tube totalement découvert, afin d'apprécier l'intensité du rayonnement total. Comme résultat, le fond du compartiment est énergiquement attaqué. Sur ce fond clair se détachent des traits d'ombres parallèles, énergiques sur une très faible longueur, et se perdant bientôt dans une image absolument diffuse. Ce sont les portions de la spirale reposant directement sur le sachet : elles seules sont venues, le reste est perdu dans la pénombre ou dans la pleine lumière.

La seconde image est due au rayonnement exclusif d'une plage de 20^{mm} de diamètre découpée dans la région directement anticathodique et d'éclat fluorescent maximum. Pour délimiter cette région, on interpose entre la plaque et le tube, tout contre ce dernier, une large feuille de plomb dans laquelle une fenêtre de la dimension

indiquée a été découpée. Le centre de la région active est comme toujours dans la verticale du centre du compartiment en expérience. L'action lumineuse est moins forte sans contredit que dans le premier cas ; la suite nous donnera une mesure approximative de l'affaiblissement. Mais remarquons en passant que cette seconde image est incomparablement plus nette que la première, et malgré la difficulté de l'objet, malgré la proximité du tube, le flou ne se montre que dans les portions de la spirale les plus éloignées de la plaque.

L'éclat fluorescent de la partie anticathodique de notre tube n'est pas uniforme, même approximativement, et son intensité ne décroît pas régulièrement à partir du centre. La région centrale est relativement obscure, un anneau brillant l'entoure. C'est l'ensemble de ces deux régions qui, dans la seconde expérience, fournissait l'énergie actinique en action. Nous avons voulu savoir quelle était l'intensité relative de chacune d'elles.

La troisième image montre l'influence de la seule plage centrale obscure. On a réduit l'ouverture du diaphragme à n'avoir plus que 10^{mm} de diamètre ; sa surface n'a donc plus que le quart de sa valeur primitive. L'intensité de la photographie est notablement diminuée ; naturellement la netteté s'est accrue.

Le quatrième compartiment renferme l'image due à l'anneau lumineux qui entoure la plage centrale. Celle-ci a été cachée par un petit écran circulaire de 10^{mm} de diamètre. La surface active est ici trois fois plus grande que dans l'expérience précédente ; néanmoins cette image est plus faible que la troisième. La conclusion est que l'intensité actinique du rayonnement X des diverses plages de la région anticathodique ne répond pas exactement à leur fluorescence. Dans le passage de l'image 3 à l'image 4, la netteté a diminué, ainsi qu'il fallait s'y attendre.

On voit déjà que la grande partie de l'intensité photographique de notre tube à vide est ramassée sur une région

assez restreinte, et que cette intensité décroît rapidement dès qu'on s'en écarte.

La diminution du pouvoir actinique est énorme à une distance de 5 ou 6 centimètres de la région centrale, — distance comptée le long de la paroi; — l'extinction est presque complète.

L'image du cinquième compartiment répond à cette nouvelle plage intermédiaire entre les régions anticathodique et antianodique. La portion active avait de nouveau une ouverture de 20^{mm} : on l'avait prise sur le méridien du tube dont le plan est perpendiculaire au plan formé par les axes cathodique et anodique. L'image est perceptible sur le négatif et aussi sur les épreuves positives, mais à grand'peine, et à la condition de les faire miroiter.

Peut-être retrouverons-nous quelque centre actif important dans la région antianodique ? Il n'en est rien, et la sixième image, prise sous la plage frappée directement par le jet violacé que l'on voit par moments jaillir de l'anode, est aussi insignifiante que la cinquième.

Il est clair, après cela, que, dans notre tube du moins, le rayonnement X n'est pas dû à l'anode mais bien à la cathode, et s'il n'est pas impossible qu'il y ait rayonnement anodique, ce phénomène n'est pas général et doit tenir à des conditions particulières d'expérience; il n'est pas essentiellement lié à la production des rayons X au moyen des ampoules de Crookes.

Quant au faible rayonnement relevé sur la région antianodique et sur la plage intermédiaire entre les régions anticathodique et antianodique, on l'explique facilement dans l'hypothèse de l'efficacité de la seule anticathode. Prenons le cas le moins favorable à l'éparpillement du rayonnement cathodique, la cathode en forme de coupe. Dans ce cas, son rayonnement se concentre en grande partie sur une portion restreinte de la paroi opposée ; toutefois, de chacun des points de l'électrode négative émanent de maigres faisceaux de rayons à peu

près dans toutes les directions; de là une légère fluorescence répandue sur presque tout le tube, de là aussi une émission atténuée de rayons X de tous les points de la paroi ; cette fluorescence et ce rayonnement X sont encore assez sensibles sur la paroi latérale au niveau de la section transversale maximum, c'est-à-dire à la courbe de raccordement du tronc de cône qui forme le corps du tube et de la calotte qui le termine. Si des plaques sensibles sont disposées tout autour du tube à la hauteur de cette courbe, on y constatera une action actinique assez faible. Nous en avons fait l'essai.

Nous avons dit plus haut avec Röntgen et Perrin que la source du rayonnement X se trouve sur la paroi fluorescente : nous entendions surtout exclure l'hypothèse qui, à première vue, paraissait la plus naturelle, et qui consisterait à voir dans la cathode même le centre d'émission de ces rayons. Ce centre est très certainement plutôt à la paroi qu'à la cathode. Est-il exactement sur la paroi? Galitzine et de Karnojitski affirment qu'il ne correspond pas à la surface du tube, mais se trouve à l'intérieur, à une distance de quelques millimètres de la paroi. La chose est évidemment possible. Comment d'ailleurs raisonner *à priori* sur un rayonnement X ? Toutefois nous aimerions voir cette proposition confirmée par des mesures nombreuses et précises, exécutées avec des faisceaux déliés, définis par des diaphragmes d'ouverture réduite, non seulement avec des tubes illuminés par un jet cathodique régulier, mais encore avec un rayonnement contrarié, dévié par l'aimant, etc.

Tâchons maintenant de *comparer* avec une certaine précision *le rayonnement de la plage directement anticathodique à celui d'une région voisine.*

Notre seconde cathodographie nous renseigne à ce sujet. Elle est divisée en cinq compartiments sur chacun desquels on a cathodographié une même grenouille ; chaque fois,

le centre de la région active se trouvait dans la verticale du point de naissance des cuisses. L'ouverture du diaphragme resta la même dans toutes les expériences : 18 millimètres.

La région centrale d'éclat maximum a fourni les images 2, 3, 4 et 5 ; les distances seules du tube à la plaque ont varié d'un cas à l'autre : 10 centimètres pour l'image 2 ; 20 pour l'image 3, puis 30 et 40 pour 5 et 6 respectivement.

On a déplacé ensuite le diaphragme, formé ici d'une calotte de plomb appliquée sur le tube, de façon à découvrir une plage aussi voisine que possible de la région centrale. Il fallut le reculer de 23 millimètres de la position primitive. Le tube fut ramené à 10 centimètres de la plage comme pour l'image 2 ; on obtint l'image 6 ; or celle-ci est nettement plus faible que l'image 5.

Que s'ensuit-il ? Röntgen, nous l'avons dit, et, plus récemment, G. Meslin (COMPTES RENDUS, 23 mars, p. 719, note 1) ont vérifié que la lumière fluorescente varie à peu près comme l'inverse du carré de la distance qui sépare l'écran du tube à décharges. Cette même loi a été retrouvée pour la variation de l'effet électrique des rayons X ; nous pouvons très vraisemblablement l'admettre aussi pour leur action actinique. Dès lors, les intensités respectives des images 2, 3, 4 et 5 seront comme les nombres 1, 1/4, 1/9, et 1/16, et nous concluons qu'en passant de la région d'éclat fluorescent maximum à la région immédiatement voisine, l'intensité photographique d'une plage égale tombe en dessous du seizième de sa valeur primitive.

Terminons et résumons cette étude du rendement en rayons X des diverses portions de la paroi du tube dans les mêmes termes qu'une note que M. Folie nous a fait l'honneur de présenter à l'Académie royale des sciences dans sa séance du 4 avril dernier :

« Ces résultats sont en parfait accord avec ce que montre

l'observation directe de la fluorescence produite sur l'écran au platinocyanure de baryum par les rayons X. Là aussi, quoique d'une façon moins précise, nous avons trouvé :

» 1° Que l'emploi d'un diaphragme de 18 millimètres d'ouverture, appliqué sur la région directement anticathodique, n'enlève qu'une faible partie de la lumière.

» 2° Que ce même procédé montre *nettement* les ombres des corps opaques aux rayons X sans que l'application immédiate de l'écran sur ces objets soit alors nécessaire (exemples : pièce en cuivre ajourée dans un porte-monnaie à double poche, os métacarpiens, articulations des phalanges des doigts).

» 3° Que les phénomènes perdent rapidement en éclat dès qu'on utilise non plus la région directement anticathodique, mais toute autre région même très voisine.

» 4° Que le jet anodique ne produit aucun effet perceptible. »

Dans les paragraphes précédents sont semés de ci de là bon nombre de détails qui intéressent la *technique de la cathodographie*. Nous allons ici rassembler ces détails et les préciser de façon à en déduire comme dans un tableau les conditions à réaliser pour accroître la perfection des silhouettes de Röntgen.

Une silhouette en général est d'autant plus nette que la source lumineuse est de surface plus restreinte, qu'elle est plus éloignée de l'objet, et que celui-ci est plus rapproché de l'écran sur lequel il porte ombre.

Devant le mur blanc d'une pièce éclairée par la longue flamme d'un bec de gaz à cheminée cylindrique, placez votre main les doigts écartés. Le mur est votre écran, vous y observerez l'ombre portée de votre main. Supposons une distance de deux mètres entre la flamme et la main, et 20 ou 30 centimètres de celle-ci au mur ; dans ces conditions, les effets à observer seront bien marqués. L'ombre est d'abord assez diffuse, ses contours sont flous, la pénombre

est notable. Mais priez un aide de réduire la flamme de moitié, et aussitôt vous verrez la silhouette gagner notablement en précision, elle sera beaucoup plus définie. Faites rendre à la flamme ses dimensions premières et modifiez la distance de votre main à l'écran : la rapprochez-vous du mur, l'ombre gagne en définition ; l'écartez-vous davantage, elle perd de plus en plus, la pénombre l'envahit progressivement. Transportez-vous devant un mur plus éloigné de la flamme, et pour une même dimension de celle-ci et une même distance de la main au mur vous avez une image plus nette que précédemment. La théorie très simple des ombres, que l'on trouve en tête de tous les traités d'optique, rend compte de ces phénomènes. — Évidemment, avec une source lumineuse de faible intensité, il faudra diminuer la distance de l'écran sous peine de n'obtenir plus qu'une ombre qui se distingue à peine de la plage éclairée. La netteté doit alors entrer en compromis avec la luminosité.

Ces considérations dictent d'abord la forme à donner à la cathode, ensuite les dispositions à adopter pour les objets, pour la paroi du tube source du rayonnement, et pour la plaque sensible qui sert d'écran (ou pour l'écran fluorescent).

La forme de la cathode doit être de préférence celle d'un miroir sphérique concave. D'après les principes exposés plus haut, les rayons cathodiques convergeront en son centre de courbure pour diverger ensuite. Ce centre doit se trouver assez rapproché de la paroi du tube. Il ne peut coïncider avec la paroi : trop facilement il l'échaufferait au point de la ramollir, ce qui entraînerait la ruine des tubes ; mais s'il en est voisin, le faisceau cathodique rencontre le verre suivant une plage circulaire restreinte qui constituera une source très abondante de rayons X. Poincaré est le promoteur de ce principe de construction. Les fabricants lui ont-ils donné l'attention que méritait la grande autorité de celui qui le proposait ? Nous ne savons.

Seguy recommande les tubes en boule à électrodes filiformes. Nous avouons ne pouvoir pas comprendre l'avantage qu'ils offriraient. La cathode filiforme dissémine les rayons cathodiques au lieu de les concentrer, la source des rayons X s'étend sur une surface notable.....

Ducretet préconise la forme poire allongée de grandes dimensions : 25 centimètres de longueur suivant le grand axe, sur 10 centimètres de largeur à la base de la calotte anticathodique. Un des principaux avantages de ces tubes serait, à cause de leur volume, de mieux tenir le vide. Cette forme est dérivée du tube de Crookes à croix d'aluminium.

La maison Geissler a adopté aussi la forme poire, mais elle a soin de donner à la cathode une forme assez concave. C'est l'idée de Poincaré et le dispositif que nous préférerions toujours.

Les tubes de S. P. Thompson décrits plus haut sont aussi fort à recommander.

La partie opaque des objets à cathodographier, les os, par exemple, s'appliquera toujours le plus possible contre la plaque.

Quelques doubles de papier aiguille forment un châssis excellent au point de vue de la faible épaisseur et de la transparence ; il a l'inconvénient de se percer très vite le long des plis et surtout aux coins. Le sachet en soie caoutchoutée livré par la maison Leybold's Nachfolger est beaucoup plus résistant. Il protège parfaitement la plaque contre la lumière du jour et son maniement est des plus commodes. Il est chargé en un instant.

Si les objets ne peuvent pas être amenés à moins de 10 ou 20 millimètres de la plaque, le tube devra être d'autant plus diaphragmé et d'autant plus éloigné du châssis. Pour une main d'homme fait appliquée par la paume sur le sachet de soie, un diaphragme de 18 millimètres d'ouverture et 12 à 15 centimètres du tube à la plaque nous ont donné une netteté irréprochable.

En dehors de la fluorescence et de la réduction des sels d'argent, on présume facilement que d'*autres influences* doivent être *exercées par les rayons X*. La communauté d'origine qu'ils ont avec les rayons cathodiques conduit tout naturellement à le penser.

Ainsi les rayons de cathode sont doués d'une énergie susceptible de produire de puissants effets calorifiques dont la mention se représente plusieurs fois au cours de ce travail. D'autre part, le phénomène de la fluorescence n'est-il pas lui-même une preuve de la faculté possédée par les rayons X de transformer leur énergie ?

Röntgen se demanda si les rayons X pourraient produire un effet calorifique. Les recherches qu'il institua dans ce sens restèrent infructueuses. Jusqu'ici d'ailleurs personne, que nous sachions, n'a réussi à mettre en évidence une action de ce genre dans le nouveau rayonnement.

Gossart et Chevalier, en cherchant à manifester le dégagement de chaleur qui se produit dans un tube de Crookes en même temps que la luminescence, découvrirent une action absolument nouvelle sur le radiomètre, action non pas calorifique, non pas de mouvement, mais d'arrêt.

On sait que le moulinet du curieux instrument dû à l'ingéniosité de Crookes se met à tourner dans son ampoule vide d'air à la seule présentation d'une source de chaleur même très faible. Ainsi, le radiomètre restant dans l'armoire fermée du cabinet de physique, nous lui présentons à un mètre de distance une simple allumette enflammée, et peu à peu, lentement, les ailettes sortent de leur immobilité et se mettent à tourner.

Or, chose étrange et absolument inattendue, placé devant un tube de Crookes très échauffé par le rayonnement cathodique, le radiomètre persiste dans son immobilité. On éteint le tube de Crookes, et recourant à un foyer calorifique auxiliaire, on imprime aux ailettes une rotation rapide, 15 tours par minute ; le courant est-il alors de nouveau envoyé dans le tube, le moulinet s'arrête,

se cale, après des oscillations d'autant plus rapides que le radiomètre est plus près du tube de Crookes.

Les ailettes du radiomètre sont donc soumises, en présence du tube à décharges, à un champ de force émanant du tube et qui va décroissant à mesure qu'on s'éloigne de celui-ci.

Righi a renouvelé cette expérience et trouvé ce nouveau résultat non moins curieux : l'arrêt du radiomètre n'a plus lieu si on baigne parfaitement toute sa paroi extérieure.

Faut-il d'ailleurs attribuer aux rayons X eux-mêmes l'effet obtenu par Gossart et Chevalier ? N'est-ce pas plutôt, comme le pense Raveau, un phénomène dû au champ électrique créé par le tube de Crookes ?

Les expériences de Rydberg montrent que l'interprétation de Raveau est la vraie. Toutes les actions exercées sur le radiomètre tirent leur origine de la couche bien connue d'électricité positive dont est couverte la surface extérieure anticathodique du tube de Crookes en activité. Le calage et les oscillations pendulaires autour d'une position d'équilibre se reproduisent exactement avec un conducteur de même forme que le tube et chargé positivement. En renfermant le radiomètre dans un cylindre de Faraday formé d'une feuille d'étain, qui n'arrête pas l'action photographique, on trouve que le rayonnement du tube n'y produit plus d'action mécanique (Comptes rendus, 23 mars, p. 715).

La fluorescence des écrans et l'effet photographique rapprochent encore les rayons X des rayons ultra-violets ordinaires, — à tel point qu'il nous a été nécessaire d'établir au préalable qu'ils ne leur étaient pas identiques.

La distinction une fois prouvée, on s'est retourné du côté des analogies.

Une des plus curieuses propriétés des rayons ultra-violets consiste en ce qu'ils provoquent la décharge des

corps électrisés exposés à leur action. Hurmuzescu et Benoist en France, Dufour à Lausanne, Righi à Bologne, J.-J. Thomson à Cambridge, Borgmann et Gerchun à Saint-Pétersbourg, constatèrent presque simultanément une efficacité toute semblable dans les rayons X. On remarquera que, dans ces recherches, les corps électrisés soumis au rayonnement X étaient protégés contre toute action électrostatique par un cylindre de Faraday. Cette précaution était évidemment nécessaire, étant donné le mode de production de ce rayonnement.

Il s'en faut de beaucoup que les résultats des divers physiciens soient absolument concordants. Le signe des charges qui peuvent être dissipées n'est pas le même d'après tous les observateurs ; mêmes divergences sur la nature de la charge finale. Ces contradictions sont-elles dues à la diversité des tubes employés ? Ce doute s'impose d'autant plus impérieusement que divers tubes, ou même un tube unique mais diversement excité, ont fourni des coefficients de transmission différents pour le même échantillon. Quoi qu'il en soit, pour le moment il reste un fait bien établi, à savoir que le potentiel d'un corps électrisé, exposé aux rayons de Röntgen, ne peut conserver une valeur (absolue) très grande.

Un autre fait qui semble connexe de la propriété citée à l'instant, est l'abaissement du potentiel explosif, constaté par Swyngedauw pour les charges statiques, et avec beaucoup plus d'intensité pour les charges dynamiques. Bergmann et Gerchun l'ont également observé ainsi que Cave.

Les rayons X, nous l'avons vu, se modifient, se dégradent en excitant la fluorescence du platinocyanure de baryum. Ils se modifient aussi en exerçant le pouvoir qu'ils ont de décharger un corps électrisé. Peut-être y a-t-il là aussi dégradation, mais d'un autre genre.

Quoi qu'il en soit, *les rayons X, après avoir opéré cette*

décharge, sont sensibles à l'action d'un électro-aimant. Et c'est bien à la décharge qu'il faut attribuer cette transformation. A. Lafay, qui signale cette nouvelle et très curieuse propriété, l'a vérifié. Si le corps conducteur baigné par le rayonnement X n'est pas électrisé, ce rayonnement traverse impunément un champ magnétique intense, il n'est pas dévié par son action (COMPTES RENDUS, 23 mars, p. 703).

Chose plus étrange encore : *selon que les corps soumis à la décharge sont électrisés positivement ou négativement, les rayons X, agents de la décharge, subissent de la part des champs magnétiques des influences de sens contraires.*

La règle donnée par Hittorf pour les rayons cathodiques s'étend à ce nouveau phénomène. « Assimilons le flux de Röntgen à un faisceau de fils conducteurs, indéfinis, flexibles et sans poids. Lorsqu'ils traversent une lame électrisée positivement, ils permettent sa décharge et sont le siège d'un mouvement électrique qui s'écoule vers les points à potentiels plus faibles. Quand la lamelle est électrisée négativement, le sens du mouvement est de sens inverse. Dans les deux cas, les conducteurs se tordent sous l'action du champ magnétique, et le sens de cette déviation est donnée par la règle d'Ampère. »

Lafay appelle ces rayons modifiés *rayons X électrisés positivement* ou *négativement* suivant le cas.

Le fait que la règle d'Ampère s'applique aux rayons électrisés, rapproche singulièrement ces derniers de l'effluve à l'air libre et de la décharge dans les tubes de Geissler. Lafay croit pouvoir affirmer qu'il existe entre ces mêmes rayons électrisés *négativement,* se propageant dans l'air raréfié, et les rayons cathodiques, la plus grande analogie, *peut-être même identité absolue* (COMPTES RENDUS, 7 avril, p. 810).

Benoist et Hurmuzescu se sont servis du pouvoir de dissipation à l'égard des charges électriques pour étudier les *lois de la transmission et de la production des rayons X,*

— comme Röntgen et d'autres avaient étudié les mêmes lois au moyen des variations de la fluorescence et de l'action photographique.

La loi de l'inverse du carré des distances s'est retrouvée ici encore pour l'intensité. Mais le résultat qu'il importe surtout de remarquer, c'est l'*hétérogénéité* des rayons X. La proportion de rayonnement transmise par les couches successives égales en épaisseur d'un même échantillon homogène n'est pas constante. Si un dixième du rayonnement traverse par exemple la première couche, ce n'est pas seulement un dixième du résidu qui traversera la seconde couche égale, mais, par exemple, deux dixièmes. Ce qui veut dire que la première couche a opéré comme un triage dans les rayons X.

Si la fraction de rayonnement non absorbée par la première couche était de la même nature que la fraction absorbée, une nouvelle couche, identique à la première, absorberait à son tour les neuf dixièmes du résidu et n'en laisserait passer qu'un dixième. Mais deux dixièmes réussissent à la traverser : c'est que les rayons composant ce résidu sont d'une énergie moyenne supérieure à celle des rayons qui formaient le faisceau primitif. Les rayons X n'ont donc pas tous des propriétés égales ; il faut en distinguer de diverses classes.

Dès lors, ne conviendrait-il pas, lorsqu'on parle d'intensité de transmission, par exemple, de spécifier toujours de quelle propriété il s'agit ? de ne pas dire d'une façon générale : telle substance a tel coefficient de transmission pour les rayons X, mais de préciser comme ceci : tel coefficient de transmission à l'égard de telle propriété des rayons X. Les pouvoirs calorifique, lumineux et actinique ne sont pas uniformément répartis sur toute l'étendue du spectre solaire. Le pouvoir calorifique réside surtout dans le spectre infra-rouge, et l'actinique à l'autre extrémité. N'y a-t-il pas de même une première classe de rayons X

féconde en effets de fluorescence et inerte ou à peu près au point de vue électrique, une seconde très actinique et rien que cela, etc. ? Plusieurs auteurs semblent ne pas s'être arrêtés à ces considérations.

L'application la plus surprenante des rayons X, celle aussi qui s'annonce dès aujourd'hui comme la plus abondante en résultats d'une importance incalculable, est, sans aucun doute, la *cathodographie du squelette* dans le vivant. Ainsi que le fait remarquer Poincaré, on aurait pu craindre que les rayons X fussent non seulement absorbés, mais énergiquement diffusés par les milieux relativement opaques, tels que les chairs. Dès lors, ils se trouvaient dans l'impossibilité de traverser tout corps un peu épais. Il n'en est rien. Et l'on peut nourrir l'espoir fondé d'arriver à pénétrer toute l'épaisseur du corps humain, du moins avec des poses prolongées, dès que les procédés d'intensification des rayons X auront été poussés un peu plus avant.

Bien mieux : c'est beaucoup moins l'arrêt des rayons X par les corps épais qu'il faut craindre, que le danger de les voir traverser les os presque à l'égal des chairs, — résultat dûment constaté par S. P. Thompson, malgré toute son apparence paradoxale. Quelles surprises ces étranges rayons X ne nous réservent-ils pas encore ?

S. P. Thompson nous a appris plus haut qu'il n'y avait rien à gagner à pousser le vide au delà de la limite qu'il nous a si nettement précisée. Une première raison est qu'alors le tube risque beaucoup d'être percé par une étincelle. La seconde est le fait que nous signalons : quand le vide est exagéré, les rayons X pénètrent non seulement la chair, mais aussi les os (Comptes rendus, 7 avril, p. 809).

A condition d'éviter cet excès, ou plutôt, sans doute, à condition de régler le degré de vide employé sur l'épaisseur des tissus à pénétrer avant d'atteindre les os à catho-

dographier, le rayonnement röntgénien fera faire à la chirurgie des progrès remarquables (1).

Rappeler ici, en les groupant, quelques-uns des principaux résultats déjà obtenus montrera ce que l'on peut attendre de la nouvelle méthode.

La première application pratique de la cathodographie à la chirurgie semble avoir été faite par Mosetig de Vienne. Il s'agissait d'un dédoublement de la phalange du gros orteil. La diagnose ordinaire ne pouvait distinguer entre ces deux os le surnuméraire de celui qui était vraiment articulé avec la phalange moyenne ; en conséquence l'amputation avait été décidée. Mais une röntgénographie montra qu'une des deux phalanges formait le joint normal, tandis que l'autre n'était en somme qu'une excroissance osseuse. Avec cette épreuve, il fut aisé au chirurgien d'enlever l'extra-phalange.

Vinrent ensuite les recherches du professeur Lannelongue et des docteurs Oudin et Barthélemy. Ils obtinrent, au travers des tissus de la cuisse, l'image d'un fémur atteint d'ostéomyélite (2). Les régions où le tissu osseux était demeuré intact avaient arrêté les rayons ; ceux-ci avaient au contraire traversé la partie où le tissu osseux avait été détruit. Ils appliquèrent le même procédé à une main dont le médius était atteint d'ostéite tuberculeuse ; l'os de la première phalange étant gonflé avait intercepté les rayons sur une plus grande largeur que ne

(1) On a déjà reconnu de grands avantages à l'emploi non pas de tubes vidés et scellés, mais d'ampoules non fermées, reliées à la trompe à mercure, et dans lesquelles on entretient pendant la pose le degré de vide convenable. Si les vues énoncées dans le texte sont exactes, ces avantages seraient encore bien plus marqués.

(2) C'est bien ainsi que la REVUE GÉNÉRALE DES SCIENCES (30 janvier, p. 55, fig. 4) présente les choses. Mais, à dire vrai, l'inspection de la figure nous fait concevoir des doutes sur l'exactitude de la légende qui l'accompagne. On ne voit pas la moindre trace des chairs ni même des autres os avec lesquels le fémur est articulé. Ne serait-ce pas un fémur complètement isolé qui aurait été cathodographié ?

l'eût fait l'os normal. Un troisième objet fut un genou guéri d'une ostéoarthrite de nature tuberculeuse ; un quatrième, la cuisse d'un enfant de huit ans affectée d'une ostéite de la diaphyse fémorale.

En résumé, concluaient les auteurs, l'examen par la nouvelle lumière n'a apporté aucun renseignement resté inaperçu, — ils se devaient ce modeste témoignage ; — mais il a été de tous points conforme aux indications fournies par la clinique. Il confirmait en outre, dans un des malades, le fait de la disparition des cartilages, et montrait la nature fibreuse d'une ankylose, — ce qui avait été conjecturé.

Mais les rayons X ont fourni bientôt des renseignements où toute l'habilité du diagnostic se trouvait en défaut.

C'est ainsi que P. Delbet put découvrir et extraire, grâce à une cathodographie, une aiguille implantée dans la main. Des tentatives avaient été faites par d'autres chirurgiens pour la trouver et l'extraire, mais en vain. L'épreuve la montra au niveau du cinquième métacarpien.

Une autre épreuve permit au même chirurgien de préciser dans une main le siège d'une balle de revolver reçue il y a douze ans. Chose curieuse : on cherchait une balle, et on en trouva deux. La cathodographie montre que le projectile a rencontré le troisième métacarpien, s'est coupé sur lui de telle sorte qu'une moitié est restée contre cet os, tandis que l'autre a cheminé jusqu'à ce qu'elle fût arrêtée par le métacarpien suivant. *Aucun de ces fragments n'est perceptible à la palpation la plus attentive.* Supposons que, sans l'aide des rayons röntgéniens, on eût été à la recherche de cette balle : on se serait estimé fort heureux d'avoir trouvé un corps étranger. Il est bien probable qu'on n'eût pas songé à en chercher un second, le malade étant certain qu'un seul avait pénétré, et les accidents auraient pu persister comme avant l'opération (Comptes rendus, 23 mars, p. 726).

Ailleurs, dans un cas de fracture de la tête d'un os métacarpien, le diagnostic n'avait pu être sûrement établi à l'exploration ordinaire, à cause de l'œdème ; tandis que, sur la cathodographie, la fracture fut immédiatement évidente (Imbert et Bertin-Sans).

Zenger a présenté à l'Académie des sciences de Paris l'image d'une main atteinte de syringomyélie ou maladie de Morvan. Les premiers articles ont déjà disparu, coupés. On distingue la destruction progressive des os, les parties atteintes présentant une transparence plus grande (temps de pose 1 h. 30 m.).

H. W. Cattell, de l'Université de Pennsylvanie, dignostiqua le dédoublement d'un des os du carpe et des phalanges compliqué d'unions osseuses dans un cas de polydactylie.

Et s'il nous est permis de dire un mot des résultats obtenus par nous-même, nous avons cathodographié, en 20 minutes, le bras cassé il y a trois mois d'un jeune homme de quatorze ans. L'image, grâce à l'emploi d'un diaphragme, est très bonne (tube à 20 cm. de la plaque) ; elle montre clairement les soudures du radius et du cubitus.

Plus récemment, un jeune enfant de quatre ans, atteint de carie au second métacarpien, nous fut amené. Il devait être opéré le lendemain par MM. les docteurs Lebrun et Bibot, de Namur. Le tube fut mis à 20 cm. de la plaque et le diaphragme de 18 millimètres d'ouverture appliqué sur le tube. En six minutes de pose, nous obtînmes une très bonne image. Malgré l'œdème, on y reconnaît au premier coup d'œil l'os malade gonflé et plus opaque que ses congénères. En haut, vers le doigt, on voit, ouverte du côté du pouce, une forte échancrure, siège de la maladie. On y aperçoit même deux fissures sur les bords et l'on distingue la partie encore saine de l'os de celle que la carie a attaquée.

Tels ou tels détails guidèrent les chirurgiens dans l'opération qui fut faite le lendemain.

Laissant le périoste, qui reconstituera un nouvel os à la main malade, ils sectionnèrent l'os à la hauteur du cartilage de conjugaison et, en bas, au point indiqué par la cathodographie comme non encore attaqué, et enlevèrent le sequestre. Le pansement fut fait à l'iodoforme, un drain fut laissé dans la plaie et la main entourée d'un bandage d'au moins deux centimètres d'épaisseur.

Huit jours plus tard, l'enfant fut ramené au laboratoire, et une nouvelle cathodographie fut prise, comme nous nous proposons de le répéter un certain nombre de fois pendant la convalescence.

Le tube fut éloigné de 25 centimètres de la plaque, afin de prévenir l'effet de pénombre qui était à craindre, vu l'impossibilité où nous étions, en raison du bandage, d'appliquer la main de l'enfant directement sur le sachet de soie renfermant la plaque. Le diaphragme était de 18 millimètres d'ouverture. Nous donnâmes 15 minutes de pose.

L'objet était difficile. Naturellement l'image n'est pas comparable à la première. Néanmoins on distingue très bien les métacarpiens, les phalanges des doigts. Mais nous ne fûmes pas peu surpris de trouver l'os opéré absolument opaque. On reconnaît très bien la partie qui a été reséquée, mais pourquoi ce vide est-il si opaque? On n'avait laissé que le périoste, qui est fort transparent, et la formation calcareuse, si elle avait déjà commencé, devait être extrêmement peu avancée. Nous eûmes bientôt l'explication du fait.

La tache noire qui marque la place de l'os se continue vers le haut, irrégulière, et forme même un magma très-prononcé. C'est le drain ; mais il est en catgut ; il ne semble pas que cette substance doive être si opaque. — Non, sans doute, mais elle est imprégnée d'*iodoforme*.

Ce souvenir fut une lumière. L'iodoforme, en vertu de l'iode dont il est composé, est extrêmement opaque aux rayons X. C'est lui qui, plus haut sur la main, amassé en

un magma d'un noir intense, a teint de la même couleur le drain, et pénétrant toute la cavité du périoste a déterminé son étrange opacité.

Nous n'avions pas prévu cette circonstance. Mais nous en conclurons que, dans toutes les interventions chirurgicales où l'on voudra suivre la régénération de l'os au moyen de la cathodographie, il sera nécessaire d'éviter avec soin tout antiseptique dont la molécule renfermerait quelqu'un des corps que Meslans nous a indiqués comme donnant de l'opacité à leurs composés, et se resteindre à l'emploi de ceux qui, ne renfermant que du carbone uni à l'hydrogène, l'oxygène ou l'azote, sont d'une grande transparence aux rayons X (1).

A cette occasion, nous avons fait, avec le R. P. Thirion, l'essai sommaire de la plus ou moins grande transparence de divers antiseptiques. L'iodoforme s'était montré fort opaque ; nous le prîmes comme terme de comparaison. Voici nos résultats :

Iodoforme : composants C, H, I. Opaque.
Sublimé corrosif : composants Hg, Cl. Opaque.
Dermatol : composants C, H, O, Bi. Opaque.
Permanganate de potassium : composants O, K, Mn. Opaque.
Phénol : composants : C, H, O. Assez transparent.
Tannin : composants C, H, O. Transparent.
Acide borique : composants Bo, O, H. »
Naphtaline : composants C, H. »
Naphtol α : composants C, H, O. »
Thymol : composants C, H, O. »
Salol : composants C, H, O. »

Il est évident que nous ne donnons qu'à titre d'exemples

(1) En général, vu les résultats annoncés par Bleunard et Labesse (COMPTES RENDUS, 23 mars, pp. 723-725), il faudra, semble-t-il, éviter les composés renfermant un ou plusieurs éléments de poids atomique élevé.

ces quelques indications recueillies rapidement sur des des corps dont la valeur dans les pansements est très inégale.

Remarquons toutefois que, d'après Crinon (*Revue des médicaments nouveaux,* 4e édition, 1895, p. 356), le salol est fort usité en chirurgie pour le pansement des plaies, et les praticiens tendent à substituer son emploi à celui de l'iodoforme. Or, comme nous l'avons vu, il est transparent au rayonnement de Röntgen. Son utilité augmenterait d'autant.

Ainsi donc, confirmation d'un diagnostic chirurgical plus ou moins douteux dans les luxations et les fractures, établissement du diagnostic que les circonstances spéciales rendent difficile ou même impossible, vérification à travers les bandages du succès d'une intervention chirurgicale dans la réduction d'un os brisé, par exemple, surveillance de la régénération d'une partie osseuse reséquée : voilà ce que, telle qu'elle est, la cathodographie est capable de faire très parfaitement si l'on y apporte le soin convenable. N'est-ce pas déjà un champ suffisamment vaste d'applications infiniment utiles ? Et n'y a-t-il pas en cela seul de quoi exciter notre admiration et notre reconnaissance pour l'homme que cette étonnante découverte a fait un des bienfaiteurs de l'humanité ?

Mais l'on entrevoit mieux encore. Déjà Meslans nous fait remarquer que, les nerfs et le sang étant d'inégale transparence relativement aux muscles, on pourra sans doute arriver à les différencier d'avec ces derniers. Zenger a produit une photographie où l'on distingue les muscles moteurs. Bientôt, sans aucun doute, si ce n'est déjà fait, on atteindra les organes intérieurs. Que la chose soit possible en principe, ce qui précède le dit déjà ; mieux encore, nos photographies de grenouilles le montrent, sur une petite échelle, bien certainement, mais enfin elles établissent le *principe*. On y voit un commencement assez net de différenciation des divers organes. Le fait que la

cavité pectorale est fermée de tous côtés ne sera peut-être pas un obstacle : car on pourrait d'abord diriger le rayonnement à travers l'intervalle des côtes sur un seul des poumons, par exemple, de façon à ne rencontrer ni le sternum, ni la colonne vertébrale. Et puis, le procédé de Ch. Henry n'est-il pas ou ne deviendra-t-il pas applicable ici? Son sulfure phosphorescent ne pourrait-il pas atténuer assez bien les ombres des corps opaques qui enserrent la poitrine pour permettre d'obtenir celles du cœur, des poumons, etc.

Un ratelier, un objet métallique, pièce de monnaie ou autre, un tube dans une opération chirurgicale peuvent par accident passer dans le tract intestinal. Les rayons X pourraient peut-être les y localiser. Les calculs rénaux ou vésicaux pourraient être reconnus par la cathodographie.

On a énoncé le vœu de voir s'organiser dans les grandes villes un service de röntgénographie auquel les médecins et les chirurgiens pourraient envoyer leurs clients, tout comme ils les adressent au pharmacien pour la préparation des médicaments qu'ils leur prescrivent. Sous la direction des praticiens, on exécuterait la cathodographie de tel ou de tel membre lésé. Les grands hôpitaux, où sont amenées les victimes de tant d'accidents, devraient, eux aussi, avoir l'outillage nécessaire pour prendre sans délai les silhouettes röntgéniennes requises pour le diagnostic (H. W. Cattell, dans Science, March 1896).

Quel plus immense progrès encore, si la découverte d'Édison était confirmée et que la fluorescence des écrans pût vraiment remplacer la photographie, même dans les cas difficiles! Ce serait presque à découvert alors que l'on observerait les lésions internes de tous genres pour en diagnostiquer la nature, vérifier l'efficacité du traitement, suivre les progrès de la convalescence. C'est d'une main plus ferme et sûrement dirigée que le chirurgien appliquerait les merveilleuses ressources de son art. Que sais-je encore?

J'ai parfois entendu des personnes peu confiantes dans la clinique des maladies internes souhaiter plaisamment que nous eussions une petite fenêtre par où l'on pût regarder dans l'intérieur du corps. Ne sommes-nous pas sur le point d'avoir trouvé la lunette magique qui nous permettra de pénétrer ces secrets de la nature?

Il est difficile de conjecturer où aboutira le nouveau chemin ouvert par Röntgen à la science, et où tant de volontés énergiques et d'esprits ingénieux se sont engagés à sa suite.

Théories. — Mais si les rayons X projettent déjà tant de lumière dans mille cachettes jusqu'ici insondables, et nous en promettent de bien plus éclatantes encore dans un avenir prochain, qu'eux-mêmes, que leur nature intime est pleine d'obscurité et de mystère !

On l'a remarqué dix fois au cours de ce travail : des propositions même bien établies, semblait-il d'abord, se montrent vacillantes ; les résultats obtenus par les divers chercheurs sont contradictoires, de nouvelles propriétés énigmatiques apparaissent, les points d'interrogations surgissent partout.

Sur un terrain aussi mouvant, quelle théorie bâtir ?

On jette les fondements de plusieurs, ou plutôt on en esquisse le plan. Nous ne pourrons que les citer : leur exposé nécessiterait des développements disproportionnés avec la longueur de cet article.

Une première théorie est radicale : il y a bien ici de nouveaux phénomènes, mais non un nouvel agent. Tout s'explique — un peu vaguement, il est vrai, — par une sorte d'effluve électrique, d'induction. Il n'y a pas de rayonnement spécial.

Viennent ensuite deux théories positives.

L'une, qui recourt aux vibrations longitudinales de l'éther, ce remède des cas désespérés, comme les a appelées quelqu'un. L'apparition de cette théorie, qui renaît de

ses cendres à chaque nouveau mystère à expliquer, a été accueillie avec un léger sourire. Aujourd'hui l'on voit des noms grandement respectés dans la science la soutenir de leur autorité (Röntgen, Kelvin, Lodge, J.-J. Thomson).

La seconde, qui, elle aussi, compte des champions de valeur (Schuster, Lodge, Raveau), voit dans les rayons X des radiations transversales de période très courte, plus simplement des rayons ultra-violets. Déjà nous avons indiqué plusieurs analogies entre les rayons X et les rayons ultra-violets ordinaires. D'ailleurs la théorie prévoirait pour les vibrations extrêmement rapides les propriétés les plus saillantes des rayons X. Cette dernière remarque, due à C. Raveau, attirera facilement les sympathies à la théorie des *ultra-ultra-violets*.

Découvertes connexes de celle des rayons X. — Nous n'avons décrit dans les pages précédentes que la production des rayons X au moyen des tubes à vide. C'était le sujet que nous nous étions proposé de traiter.

L'apparition des rayons X donna l'impulsion à une foule de recherches des plus variées, et bientôt on vit surgir de nouveaux moyens de photographier au travers des corps opaques. Étaient-ce encore les rayons X eux-mêmes, ou une classe nouvelle de rayons X apparentés avec ceux de Röntgen, ou enfin un agent de nature toute différente ? Nous inclinons vers la seconde hypothèse. Voici brièvement les principaux faits.

On se rappelle les anciennes expériences de Latchinoff et Moniusko citées plus haut ; nous n'y revenons pas.

En janvier dernier, G. Moreau obtint la photographie d'objets métalliques à travers des corps opaques au moyen de la seule aigrette d'une bobine d'induction, sans tube de Crookes. Par une anomalie curieuse, l'aigrette des machines électrostatiques a été trouvée inactive.

Un peu plus tard, Ch. Henry, continuant ses expériences sur le sulfure de zinc phosphorescent, put vérifier, dans

un cas particulier, l'hypothèse suggestive émise par H. Poincaré dans son article sur les rayons X. « Ainsi, dit l'illustre physicien, c'est le verre qui émet les rayons Röntgen, et il les émet en devenant fluorescent. Ne peut-on alors se demander si tous les corps dont la fluorescence est suffisamment intense n'émettent pas, outre les rayons lumineux, des rayons X de Röntgen, *quelle que soit la cause de leur fluorescence ?* »

Henry trouva que le sulfure de zinc phosphorescent, impressionné par la lumière d'un ruban de magnésium pendant une seconde, et aussi par la lumière diffuse du jour pendant deux heures, fournissait des rayons traversant le papier noir comme les rayons Röntgen.

Il a même pu établir le principe d'un accumulateur de cette lumière. On sait que la chaleur précipite l'émission lumineuse des corps phosphorescents. Henry a eu l'idée que, réciproquement, les froids intenses doivent entraver cette émission, et l'expérience a pleinement confirmé cette induction. Il plonge dans un mélange réfrigérant à —79° un tube rempli de sulfure de zinc venant de subir l'illumination. La partie qui émerge perd sa lumière rapidement et plus ou moins complètement. Lorsqu'on retire le tube du mélange réfrigérant, la partie immergée a perdu tout éclat. Mais si l'équilibre de température se rétablit, cette partie redevient très brillante et l'émission de lumière s'opère. Il serait donc facile d'imaginer un dispositif permettant d'emmagasiner la lumière solaire et de la restituer à l'heure voulue.

G. H. Niewenglowski, Becquerel et Troost continuèrent la vérification de l'hypothèse de Poincaré sur diverses substances phosphorescentes ou fluorescentes (1). Ils

(1) Nous rappelons ici que les auteurs emploient indifféremment, au sujet des faits que nous rapportons, les dénominations de phosphorescence et de fluorescence, ou, tout au moins, que si chacun d'eux se borne à n'employer qu'un de ces deux termes, les uns diront *phosphorescence* où les autres parleront de *fluorescence*. Nous nous en autorisons pour dire l'un ou l'autre à volonté, et pour employer aussi le terme plus vague et par là-même plus exact, pour le moment, de *luminescence*.

trouvèrent dans plusieurs de ces substances des radiations invisibles capables de traverser les corps opaques. Nous ne rappellerons que les sels d'urane, étudiés par Becquerel, et la blende hexagonale artificielle observée d'abord par Troost.

Les nombreuses et très attentives recherches de Becquerel le conduisirent à un résultat tout à fait imprévu.

Il y a *indépendance absolue entre l'émission de ces nouvelles radiations invisibles et l'émission des radiations visibles par phosphorescence* (Becquerel, COMPTES RENDUS, 23 mars, p. 693, et 30 mars, p. 763).

Ainsi le sulfate double d'uranyle et de potassium perd sa phophorescence visible un centième de seconde après l'insolation, tandis que, plongé dans l'obscurité pendant plusieurs jours, il continue encore à émettre des radiations invisibles capables de traverser les corps opaques.

En outre, dans certaines substances, qui auront joui à un moment donné de cette nouvelle activité, la phosphorescence même très vive ne sera pas toujours nécessairement accompagnée de radiations invisibles. Des échantillons de sulfure de calcium et de blende hexagonale artificielle, d'abord très riches en radiations nouvelles, sont peu à peu devenus inertes. L'échauffement, l'insolation, les décharges électriques purent éveiller à nouveau et vivement leur phosphorescence ; les radiations invisibles restèrent éteintes.

Enfin, preuve suffisante à elle seule de l'indépendance annoncée, les sels uraneux qui ne sont pas phosphorescents émettent des radiations invisibles.

Ces faits pourraient peut-être jeter un certain doute sur l'*explication donnée par d'Arsonval aux expériences de G. Le Bon*. Ce dernier avait cru reconnaître, dans le flux lumineux d'une lampe à pétrole, l'existence de radiations actiniques susceptibles de traverser des plaques métalliques épaisses. Quelques expérimentateurs renouvelèrent

avec succès les expériences de Le Bon ; d'autres n'obtinrent aucun résultat.

D'Arsonval, comparant attentivement les conditions de ces divers essais, fit cette observation : il n'y avait eu d'impression photographique derrière l'écran métallique que là où, entre la source lumineuse et la plaque sensible, on avait intercalé une *lame de verre*. C'était cette dernière sans doute qui était la source des radiations invisibles.

Il soumit cette idée au contrôle de l'épreuve et de la contre-épreuve expérimentales et en vérifia l'exactitude. En opérant comme Aug. et Louis Lumière, c'est-à-dire en exposant aux rayons solaires une plaque sensible protégée par un écran métallique même très mince, il n'obtint aucune impression. Interposant ensuite entre la plaque métallique et les rayons solaires une lame de glace, il constata à la longue une faible impression de la plaque sensible.

Les meilleurs résultats furent donnés par les verres qui émettent une fluorescence jaune verdâtre sous la lumière de l'étincelle électrique. Les verres d'urane se montrèrent spécialement actifs.

De ces expériences et de quelques autres encore, d'Arsonval conclut d'abord que, dans les expériences de G. Le Bon, le verre avait agi par sa fluorescence ou par une propriété intimement unie à cette fluorescence ; plus généralement, que les corps fluorescents jouissent des propriétés des rayons X, conformément à l'hypothèse de H. Poincaré, et que, en fin de compte, le rôle des rayons cathodiques dans les expériences de Röntgen se bornait à exciter la fluorescence du verre spécial composant l'ampoule de Crookes.

Dans cette dernière affirmation, le savant académicien oubliait, peut-être, le résultat obtenu par Röntgen lui-même et rapporté plus haut : « Les rayons ne se produisent pas seulement dans le verre. Je les ai obtenus dans un appareil fermé par une lame d'aluminium de

2^{mm} d'épaisseur. » Il est vrai que cette fenêtre devient elle-même luminescente, dès qu'il s'est formé un peu d'alumine à sa surface (Guillaume, *Les Rayons X*, p. 67, note 1). Encore n'est-il pas démontré ni que la fenêtre d'aluminium de Röntgen fût oxydée, ni que la faible luminescence qu'elle aurait manifesté pût rendre compte du rendement en rayons X observé par Röntgen.

Puis, Becquerel, nous l'a dit, il y a radiations invisibles là où il n'y a pas luminescence. Enfin, il peut y avoir fluorescence tout contre la plaque sensible sans qu'il y ait impression, comme dans l'expérience du R. P. Thirion citée plus haut.

Il reste bien probable que l'effet obtenu par Le Bon doit être attribué au verre placé devant les plaques sensibles. Mais que ce soit la fluorescence du verre qui soit en action, ou une autre propriété connexe de la fluorescence, ou enfin une propriété indépendante de la fluorescence, nous ne savons.

On le voit, l'agent mystérieux des phénomènes nouveaux se dérobe, nous nargue malicieusement, et nous laisse ébahis à la vue de ses caprices. Tantôt il apparaît avec la luminescence, mais s'obstine à lui survivre. Puis, celle-là renaissant, il lui refuse sa compagnie. Enfin, il s'affectionne à des séjours dont la luminescence est bannie. Voilà bien les caractères de l'indépendance absolue.

Mais donnons encore quelques détails sur les propriétés qui lui ont été reconnues.

Les radiations émises par les sels d'uranium, — pour parler de ceux que Becquerel a spécialement étudiés, — semblent jouir d'un *pouvoir de pénétration très remarquable à l'égard de diverses substances ;* elles traversent la plupart des corps et, en particulier, les métaux, plus facilement que ne le fait le rayonnement Röntgen. Le platine et le cuivre, par exemple, ne leur sont pas aussi impénétrables qu'aux rayons X.

La loi de leur absorption en fonction de l'épaisseur des substances à traverser n'a pas encore été déterminée, que nous sachions.

Cela pourtant serait extrêmement intéressant à connaître au point de vue des applications. Et l'on souhaite d'autant plus vivement voir aborder cette question que Troost, en présentant la blende hexagonale artificielle, avait fondé sur son emploi les plus grandes espérances. Cette substance pourrait, pensait-il, remplacer dans les recherches médicales les tubes de Crookes, qui ont le grand défaut d'être coûteux — en France surtout — et d'un maniement délicat. Troost en effet avait réussi à obtenir, à l'aide d'un échantillon de blende, la silhouette d'objets de métal placés sur une plaque photographique dans une boîte de carton fermée. Le savant académicien insinuait que l'on pourrait fixer par un bandage convenable la blende ainsi que la plaque au gélatinobromure au membre à photographier. Pendant la pose, au lieu d'être réduit à une immobilité gênante, pénible même, le patient aurait pu circuler, se livrer à ses occupations ordinaires. C'était l'idéal à bon marché.

Il y avait bien un inconvénient dans ce fait, déjà signalé, que la blende de Troost peut perdre ses radiations invisibles ; mais il suffisait de lui substituer les sels d'urane qui, eux, sont remarquablement constants dans leur activité.

Il n'est pas probable que l'on soit resté jusqu'ici sans tenter aucun essai de photographie du squelette dans le vivant au moyen de ces substances, car Troost émit son projet à la séance du 9 mars de l'Académie des sciences de Paris. Le silence gardé jusqu'ici sur les résultats semblerait indiquer qu'ils n'ont pas réussi.

Au surplus, en présence des poses très réduites, qui suffisent aujourd'hui, grâce aux perfectionnements de Meslin, d'Imbert et Bertin-Sans, de Chappuis et de S. P. Thompson, pour obtenir des cathodographies, l'avan-

tage espéré par Troost a perdu une bonne partie de sa valeur.

Outre le passage à travers les corps opaques, *les radiations des sels d'urane* ont ceci de commun avec les rayons X qu'elles *déchargent les corps électrisés* (Becquerel).

Mait elles s'en écartent considérablement par plusieurs caractères très importants. Les radiations invisibles des sels d'urane *se réfléchissent* sur les surfaces métalliques et, dans le verre, *se réfractent* et se réfléchissent totalement. Enfin, Becquerel a mis en évidence leur *double réfraction* et, du même coup, la *polarisation* des deux rayons et leur inégale absorption au travers de la tourmaline.

Ces radiations invisibles sont donc constituées par des vibrations transversales, et, si l'hypothèse qui voit dans les rayons X aussi des vibrations transversales très rapides est la vraie, on pourrait penser avec quelque vraisemblance que ces radiations invisibles forment la transition entre les rayons X et les rayons ultra-violets ordinaires. La réflexion et la réfraction seraient une indication dans ce sens (Guillaume).

Mais, pour le moment, nous le répétons, à raison de la complexité des problèmes, vu les résultats parfois contradictoires obtenus par les observateurs, toute théorie est nécessairement hasardeuse. — Peut-être en sera-t-il ainsi longtemps encore.

Le premier travail qui s'impose est, certes, la définition exacte des conditions essentielles des divers phénomènes, leur classement, le départ de ceux qui appartiendraient de fait à un ou à deux nouveaux agents et de ceux qui viendraient d'ailleurs, par exemple du champ électrique ou électromagnétique créé par les tubes de Crookes.

Tout cela est encore confondu, et le chapitre des radiations invisibles de Röntgen ou de Becquerel est un peu à l'état chaotique.

Volontiers, à la vue du désarroi où se trouvent les

hommes de la science devant ces nouveaux et mystérieux phénomènes, je me représente Dieu s'adressant à Job et lui disant : « Dis-moi, connais-tu toutes choses ? Sais-tu quelles sont les voies de la lumière et où vraiment se trouvent les ténèbres ? » *Indica mihi si nosti omnia. In qua via lux habitet et tenebrarum quis locus sit* (38, 19, 20). Et plus d'une fois, au cours des progrès de la science, jetant un regard en arrière sur ses théories, hâtives les unes, les autres péniblement élaborées, le savant doit répondre avec Job : « J'ai parlé à la légère. » Devra-t-il aussi dire : « Je mettrai ma main sur ma bouche (pour m'imposer silence à moi-même) : j'ai dit une chose que je n'aurais pas dû dire, et une autre à laquelle je n'ajouterai rien » ?

Si sa science l'a rempli d'une vaine et superbe complaisance en lui-même et lui a fait oublier Dieu, le grand Sage et le grand Maître, s'élever même contre Lui et nier jusqu'à son existence, oh ! oui, que le savant se mette la main sur la bouche et rétracte ces écarts insensés : *Vani sunt homines in quibus non subest scientia Dei.* Mais après cet aveu plein d'une humilité qui l'exalte au lieu de l'abaisser, puisqu'elle est la vérité, qu'il se retourne encore vers ce monde que Dieu a livré à ses recherches, qu'à l'œuvre il sache reconnaître l'Artisan, admirer les perfections du Maître du monde, et dans la beauté et dans la magnificence de la créature adorer le Créateur. Voilà son rôle ! Combien, hélas ! l'oublient.

Imprimerie POLLEUNIS & CEUTERICK, 30, rue des Orphelins, Louvain.

Même maison à Bruxelles, 37, rue des Ursulines.

REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉE PAR

LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

NOUVELLE SÉRIE

Cette revue de haute vulgarisation, fondée en 1877 par la Société scientifique de Bruxelles, se compose actuellement de deux séries : la **première série** comprend 30 volumes (quinze années, 1877-1891) ; la **deuxième série** a été inaugurée en 1892.

Elle paraît en livraisons trimestrielles de 350 pages environ, à la fin des mois de janvier, d'avril, de juillet et d'octobre.

Chaque livraison renferme trois parties principales.

La **première partie** se compose d'**Articles originaux**, où sont traités les sujets les plus variés se rapportant à l'astronomie, la physique, la chimie, l'histoire naturelle, l'anthropologie, l'ethnographie, l'orientalisme, l'agriculture, etc.

La **deuxième partie** consiste en une **Bibliographie scientifique**, où l'on trouve un compte rendu approfondi et une analyse développée des principaux ouvrages scientifiques récemment parus.

La **troisième partie** consiste en une **Revue des recueils périodiques,** où des écrivains spéciaux résument ce qui paraît de plus intéressant dans les archives scientifiques et littéraires de notre temps.

Outre ces trois parties, chaque livraison contient ordinairement un ou plusieurs articles de **Variétés** ou de **Mélanges scientifiques**.

CONDITIONS D'ABONNEMENT.

Le prix d'abonnement à la *Revue des questions scientifiques* est de **20 francs** par an, pour tous les pays de l'Union postale.

Les membres de la Société scientifique de Bruxelles ont droit à une réduction de **25** $^0/_0$; le prix de leur abonnement est de **15 francs** par an.

